

Universidade de Lisboa

Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**A eficiência térmica no potencial de arrefecimento de dois espaços
verdes em Lisboa**

Cláudia Estêvão dos Reis

Dissertação orientada por
Prof. Doutor António Manuel Saraiva Lopes

Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território

2018

Universidade de Lisboa

Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**A eficiência térmica no potencial de arrefecimento de dois espaços
verdes em Lisboa**

Cláudia Estêvão dos Reis

Dissertação orientada por

Prof. Doutor António Manuel Saraiva Lopes

Júri:

Presidente: Professor Doutor Carlos Silva Neto – Professor Associado com Agregação do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

Vogais:

- Professora Doutora Maria João Alcoforado - Professora Catedrática Aposentada do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa
- Professora Doutora Cristina Branquinho – Professora Associada da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
- Professor Doutor António Manuel Saraiva Lopes - Professor Auxiliar do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

2018

Agradecimentos

Não poderia deixar de agradecer a todos os que, de algum modo, contribuíram para a execução deste trabalho.

Em primeiro lugar, ao meu orientador, o professor António Lopes, agradeço a oportunidade e toda a ajuda e apoio incansável durante a investigação.

Ao engenheiro António Morgado Fonseca e ao departamento de jardinagem do Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian, pela disponibilização e ajuda prestada na colocação dos instrumentos de recolha de dados climáticos. De igual modo, ao departamento de iluminação pública da CML, pela amabilidade na instalação dos instrumentos no exterior do Jardim da Gulbenkian e do Jardim Fernando Pessa.

Um especial agradecimento a alguns docentes do IGOT, nomeadamente o professor Jorge Rocha, por toda a paciência e ajuda na cartografia elaborada ao longo do presente trabalho, o professor Ezequiel, pela ajuda no trabalho de campo, e o professor Carlos Neto, pela assistência na escolha dos locais de medição de parâmetros climáticos no interior do jardim da Gulbenkian.

Gostaria, ainda, de agradecer à professora Cristina Branquinho, docente na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), pelos esclarecimentos relativos aos indicadores da vegetação, e a Ana Girão (Departamento dos Espaços verdes) pela informação disponibilizada acerca das características e da rega no Jardim Fernando Pessa.

Por último, mas não menos importante, a todos os familiares e amigos que me apoiaram ao longo desta difícil jornada: à minha mãe, às minhas primas Filipa e Marta, ao meu tio João, à minha grande amiga Patrícia por todos os conselhos, e ao Luís.

Resumo

Atualmente, a mitigação da ilha urbana de calor (IUC) é uma das grandes para a melhoria das condições de habitabilidade da população urbana. No presente trabalho pretendeu-se a determinação do potencial de arrefecimento dos espaços verdes em Lisboa, quantificando o volume de vegetação necessário para a redução de 1°C na temperatura do ar. Para tal, foram selecionadas algumas áreas amostra: um jardim de média dimensão (Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian), um jardim de pequena dimensão (Jardim Fernando Pessa) e duas ruas, uma com vegetação (Avenida Defensores de Chaves) e outra sem vegetação (Rua Actor Isidoro). Em todos os espaços foram recolhidos dados climáticos (instalação de redes meteorológicas urbanas e medições itinerantes) e, posteriormente, interpolaram-se as temperaturas no interior e no exterior de um jardim, de modo a caracterizar o comportamento térmico destes espaços verdes e a sua influência na área construída envolvente. Ao mesmo tempo, estimou-se a biomassa da cidade de Lisboa, a partir de modelos de deteção remota que recorreram ao índice de vegetação NDVI. Com o volume de massa verde, estimou-se a densidade de vegetação que, juntamente com a interpolação das temperaturas, permitiu a construção de um modelo de regressão linear simples de estimação do potencial de arrefecimento dos espaços verdes.

Concluiu-se que todos os espaços verdes estudados conseguiram, em algum momento, arrefecer o ambiente térmico envolvente. No entanto, a intensidade das ilhas de frescura (PCI – Park Cool Island) e as distâncias máximas de arrefecimento registaram grande variabilidade espacial e temporal. No Jardim da Gulbenkian registou-se uma intensidade média da PCI de 2,2°C, em dias com nebulosidade moderada a forte e uma grande variabilidade em termos de velocidade média do vento. O Jardim Fernando Pessa esteve quase sempre mais quente que a sua área envolvente. Os fatores que poderão explicar estas diferenças prendem-se com a dimensão dos espaços verdes e a densidade e o tipo de vegetação presente, tendo-se constatado que o efeito de arrefecimento de jardins compostos maioritariamente por espécies herbáceas como a relva é muito reduzido ou nulo. Quanto às ruas analisadas, concluiu-se que a rua arborizada esteve, em média, 1°C mais fresca que a rua sem vegetação, tendo as diferenças máximas atingido 3,7°C.

A partir do modelo de regressão linear simples (temperatura do ar vs densidade da vegetação), concluiu-se que para a redução de 0,02°C na diferença da temperatura entre um ponto de medição e um ponto fixo é necessário um incremento na vegetação de 1m² (no plano).

Em suma, a metodologia utilizada neste estudo é um ponto de partida para a estimação do potencial de arrefecimento de toda a massa verde da cidade de Lisboa, sendo necessário prosseguir esta investigação estudando um maior número de jardins de Lisboa.

Palavras-chave: espaços verdes, biomassa, PCI (Park Cool Island), temperatura do ar, efeito de arrefecimento

Abstract

Nowadays, urban heat island's mitigation is an important goal to improve health and comfort conditions of urban population. The purpose of this research is to evaluate the cooling potential of Lisbon's green spaces, quantifying the volume of vegetation needed to reduce 1°C in air temperature. Therefore, several green spaces were chosen as samples: a medium size green space (Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian), a small size green space (Jardim Fernando Pessa) and two streets, one with vegetation (Avenida Defensores de Chaves) and one without vegetation (Rua Actor Isidoro). In all green spaces climatic data were collected (installation of urban meteorological stations and mobile measurements in predefined transects) and air temperature was interpolated in Jardim da Gulbenkian to characterize the thermal behavior of green spaces and its influence in the surrounding building area. Furthermore, the city's biomass was estimated through several remote sensing models using NDVI. From this, the density of vegetation in Jardim da Gulbenkian was calculated. This output and the interpolated temperatures were used to develop a linear regression model to estimate the influence of vegetation on air temperature and the cooling potential of green spaces in the city.

The main results indicate that all green spaces analyzed, at some moment, reduced air temperatures in their surroundings. However, the intensity of park cool islands (PCI) registered high temporal and spatial variability. In Jardim da Gulbenkian, the medium PCI recorded was 2,2°C in days with moderate to high nebulosity and high variability of winds. Jardim Fernando garden was often hotter than surroundings. These differences may be explained by the dimension of green spaces and the type and area occupied by vegetation, since the cooling effect of green spaces covered mostly by grass is often small or absent. Regarding the two streets analyzed, Avenida Defensores de Chaves was, in average, 1°C cooler than Rua Actor Isidoro, and maximum differences reached 3,7°C.

Considering the linear regression model built with air temperature and density of vegetation (predictive variable), it was concluded that, in order to reduce 0,02°C in difference of air temperature between one measure point and a fixed station the area occupied by vegetation must be increased in 1m² (planar measure).

The methodology applied in this study may be considered as a base to estimate the cooling potential of all green spaces in Lisbon. Further research with a great number of green spaces is needed in the future in order to better quantify this effect.

Keywords: green spaces, biomass, PCI (Park Cool Island), air temperature, cooling effect

Índice

Agradecimentos	i
Resumo.....	iii
Abstract	v
Índice de figuras	xi
Índice de tabelas	xv
Lista de acrónimos e siglas.....	xvii
1. Introdução	1
1.1. Relevância do tema	1
1.2. Objetivos e questões de partida	2
1.3. Estrutura da dissertação	2
2. Revisão da literatura	5
2.1. O clima urbano	5
2.2. A ilha urbana de calor (IUC)	7
2.3. Os espaços verdes como estratégia de mitigação da IUC.....	12
2.4. A influência dos espaços verdes no ambiente térmico envolvente.....	13
3. A cidade de Lisboa: clima e vegetação.....	23
3.1. Enquadramento geográfico.....	23
3.2. Enquadramento climático	24
3.2.1. A IUC em Lisboa.....	25
3.2.2. Estratégias de mitigação da IUC.....	28
3.3. A vegetação e os espaços verdes lisboetas.....	30
2.4. A influência térmica dos espaços verdes em Lisboa	32
4. Metodologia de trabalho	37
4.1. Esquema metodológico.....	37
4.2. Áreas-amostra: Jardim da Gulbenkian, Jardim Fernando Pessa, Avenida Defensores de Chaves e Rua Actor Isidoro	38
4.2.1. Razões de escolha	38
4.2.2. Localização geográfica e caraterísticas gerais.....	39
4.3. Aquisição de dados.....	44
4.3.1. Instrumentação e software utilizados.....	44
4.3.2. Instalação de redes micrometeorológicas temporárias.....	46
4.3.3. A utilização de imagens de satélite na determinação da “biomassa urbana”	57
4.4. Tratamento estatístico e numérico dos dados para a avaliação do potencial de arrefecimento da temperatura do ar.....	61

4.4.1	Medições de parâmetros climáticos em pontos fixos.....	61
4.4.1.1.	Classificação em tipos de tempo	61
4.4.1.2.	Análise estatística dos dados climáticos observados.....	63
4.4.1.3.	Medições itinerantes de parâmetros climáticos.....	67
4.4.1.3.1.	Correção e análise dos dados.....	67
4.4.2.	Estimação da biomassa na cidade de Lisboa.....	68
4.4.2.1.	Caraterização da vegetação no interior e exterior do Jardim da Gulbenkian ...	68
4.4.2.2.	Modelos de biomassa testados.....	69
4.4.4.	Espacialização do comportamento térmico dos espaços verdes.....	72
4.4.4.1.	Interpolação das temperaturas no interior e no exterior de um espaço verde	72
4.4.4.2.	Estimação do potencial de arrefecimento dos espaços verdes	72
5.	Resultados	75
5.1.	A vegetação e os espaços verdes lisboetas.....	75
5.1.1.	Caraterização da vegetação no interior e na envolvente de um espaço verde.....	75
5.1.2.	Estimação da biomassa da cidade de Lisboa.....	76
5.2.	Caraterização do comportamento térmico dos espaços verdes – amostra (pontos fixos)	84
5.2.1.	Análise das temperaturas médias horárias	84
5.2.2.	Ilhas de frescura dos jardins (PCI)	92
5.2.3.	Análise das medições itinerantes.....	99
5.3.	Estimação do comportamento térmico dos espaços verdes	106
5.3.1.	Interpolação da temperatura no Jardim da Gulbenkian.....	106
5.3.2.	Estimação do potencial de arrefecimento do Jardim da Gulbenkian	109
6.	Discussão de resultados	115
6.1.	A vegetação na cidade de Lisboa	115
6.2.	Comportamento térmico dos espaços verdes na cidade de Lisboa.....	117
6.2.1.	Jardins de média dimensão (Jardim da Gulbenkian).....	117
6.2.2.	Jardins de pequena dimensão (Jardim Fernando Pessa)	121
6.2.3.	Ruas arborizadas	124
6.3.	O potencial de arrefecimento dos espaços verdes lisboetas.....	125
7.	Conclusões.....	127
8.	Bibliografia	131
9.	Anexos	147
	Anexo 1 – Quadro-resumo: caraterísticas dos locais de medição fixa de parâmetros climáticos (Jardim da Gulbenkian)	147

Anexo 2 - Quadro-resumo: caraterísticas dos locais de medição fixa de parâmetros climáticos (Jardim Fernando Pessa)	152
Anexo 3 - Quadro-resumo: caraterísticas dos locais de medição itinerante de parâmetros climáticos no interior e no exterior do Jardim da Gulbenkian.....	153
Anexo 4 - Quadro-resumo: caraterísticas dos locais de medição itinerante de parâmetros climáticos na rua com vegetação (Avenida Defensores de Chaves) e na rua sem vegetação (Rua Actor Isidoro)	159
Anexo 5- Dados de temperatura do ar e humidade relativa: medições itinerantes no interior e no exterior do Jardim da Gulbenkian	161
Anexo 6 - Dados de temperatura do ar e humidade relativa: medições itinerantes numa rua com vegetação (Avenida Defensores de Chaves) e numa rua sem vegetação (Rua Actor Isidoro)	163

Índice de figuras

Figura 1 - Estratificação vertical da atmosfera urbana e escalas de análise.....	6
Figura 2 - O efeito das superfícies impermeabilizadas vs espaços verdes na menor ou maior evapotranspiração e no escoamento e infiltração da água nos solos.	10
Figura 3 - Espaços verdes em Lisboa.	23
Figura 4 - IUC noturna de Lisboa: temperaturas normalizadas da atmosfera referentes a noites com vento Norte moderado.	27
Figura 5 - Vantagens da vegetação de folha caduca no inverno e no verão.....	30
Figura 6 - Freguesias de Lisboa - percentagem de área verde.....	32
Figura 7 - Espaços verdes analisados em Lisboa.	34
Figura 8- Esquematização das etapas do trabalho.....	37
Figura 9 - Localização das áreas verdes estudadas.	39
Figura 10 - Pormenores do Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian.	41
Figura 11 - Pormenores do Jardim Fernando Pessa.....	42
Figura 12 - Pormenores da Avenida Defensores de Chaves	43
Figura 13 - Pormenores da Rua Actor Isidoro	44
Figura 14 - Locais de medição fixa de parâmetros climáticos no Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian.	47
Figura 15 - Locais de medição fixa de parâmetros climáticos no Jardim Fernando Pessa.	49
Figura 16 - a: Material para a construção do abrigo meteorológico; b: Abrigo meteorológico .	50
Figura 17 - Etapas na construção de um abrigo meteorológico	50
Figura 18 - Percursos das medições itinerantes no interior e no exterior do Jardim da Gulbenkian	53
Figura 19 - Distância dos pontos de medição fixa e itinerante no exterior do Jardim da Gulbenkian (2018).....	54
Figura 20 - Localização dos pontos de medição itinerante numa rua com vegetação (Avenida Defensores de Chaves) e numa rua sem vegetação (Rua Actor Isidoro).	55
Figura 21 - Perfis de temperatura no Jardim da Gulbenkian.	65
Figura 22 - Células escolhidas para a caracterização da vegetação (<i>Landsat 8</i>)..	68
Figura 23 - Variação mensal do NDVI no interior e nos arredores do Jardim da Gulbenkian a partir de imagens do satélite <i>Landsat 8</i> , entre 2013 e 2017.	70
Figura 24 - NDVI na cidade de Lisboa - situação representativa de inverno (05/02/2016).	71
Figura 25 - NDVI na cidade de Lisboa - situação representativa de verão (17/07/2017)	71
Figura 26 - Comportamento do NDVI no interior e nos arredores do Jardim da Gulbenkian, entre 2013 e 2017 (imagens <i>Landsat 8</i>).....	75
Figura 27 - Variação mensal do NDVI no interior e nos arredores do Jardim da Gulbenkian, a partir de imagens do satélite <i>Landsat 8</i> , entre 2013 e 2017	76
Figura 28 - Variação mensal do NDVI e da biomassa estimada no interior do Jardim da Gulbenkian, a partir de imagens do satélite <i>Landsat 8</i> , entre 2013 e 2017	77
Figura 29 - Comportamento do NDVI e da biomassa estimada no interior do Jardim da Gulbenkian, entre 2013 e 2017 (imagens do <i>Landsat 8</i>)	77
Figura 30 - Biomassa da cidade de Lisboa - situação ilustrativa do período de inverno.	81
Figura 31 - Biomassa da cidade de Lisboa - situação ilustrativa do período de verão.....	82
Figura 32 - Biomassa da cidade de Lisboa - situação média de verão.	83
Figura 33 – Biomassa da cidade de Lisboa - situação média de inverno.	83

Figura 34 - Árvore de ligação – dias com céu limpo e vento fraco – tipo de tempo 1 (Jardim da Gulbenkian - 2018)	86
Figura 35 - Árvore de ligação – dias com céu limpo e vento moderado a forte – tipo de tempo 2 (Jardim da Gulbenkian - 2018)	86
Figura 36 - Árvore de ligação – restantes condições meteorológicas observadas – tipo de tempo 3 (Jardim da Gulbenkian - 2018)	87
Figura 37 - Comportamento diário das temperaturas no interior e nos arredores do Jardim da Gulbenkian, entre fevereiro e julho de 2018	88
Figura 38 - Perfis de temperatura N-S no Jardim da Gulbenkian às 17:00h (2018).....	89
Figura 39 - Perfis de temperatura N-S no Jardim da Gulbenkian (às 5:00h, 6:00h e 8:00h no tipo de tempo 1 e às 17:00h nos tipos de tempo 2 e 3) - 2018.....	89
Figura 40 - Perfis de temperatura O-E no Jardim da Gulbenkian às 17:00h (2018)	90
Figura 41 - Perfis de temperatura O-E no Jardim da Gulbenkian (às 5:00h, 6:00h e 8:00h no tipo de tempo 1 e às 17:00h nos tipos de tempo 2 e 3) - 2018.....	91
Figura 42- Comportamento diário das temperaturas no interior e nos arredores do Jardim Fernando Pessa, entre fevereiro e julho de 2018.....	92
Figura 43 -Histograma de frequências: PCI no Jardim da Gulbenkian (fevereiro a julho de 2018)	93
Figura 44 - Histograma de frequências: PCI no Jardim Fernando Pessa (fevereiro a julho de 2018)	96
Figura 45 - Comportamento diário da PCI no Jardim da Gulbenkian e no Jardim Fernando Pessa (fevereiro a julho de 2018).....	99
Figura 46 – Anomalias de temperatura do ar e humidade relativa no percurso itinerante do interior do Jardim da Gulbenkian (2018).	100
Figura 47 – Anomalias médias de temperatura do ar e humidade relativa no percurso a norte do Jardim da Gulbenkian, na Rua Tenente Espanca (2018).....	101
Figura 48 – Anomalias médias de temperatura do ar e humidade relativa no percurso a sul do Jardim da Gulbenkian, na Rua Dr. Nicolau Bettencourt (2018).	102
Figura 49 – Anomalias médias de temperatura do ar e humidade relativa no percurso a oeste do Jardim da Gulbenkian, na Rua Ramalho Ortigão (2018).	103
Figura 50 – Anomalias médias de temperatura do ar e humidade relativa no percurso a leste do Jardim da Gulbenkian, na Avenida Miguel Bombarda (2018).....	104
Figura 51 - Anomalias médias de temperatura do ar e humidade relativa numa rua com vegetação, na Avenida Defensores de Chaves, e numa rua sem vegetação, na Rua Actor Isidoro (2018).	105
<i>Figura 52 - Comportamento térmico do Jardim da Gulbenkian: situação ilustrativa do tipo de tempo 1 (20/05/2018).....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 53 - Comportamento térmico do Jardim da Gulbenkian: situação ilustrativa do tipo de tempo 2 (24/04/2018).....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 54 - Comportamento térmico do Jardim da Gulbenkian - situação ilustrativa do tipo de tempo 3 (09/07/2018).....</i>	<i>110</i>
Figura 55 - Densidade de núcleos de vegetação (Kernel) no interior e na envolvente do Jardim da Gulbenkian - situação ilustrativa de verão.....	111
Figura 56 - Densidade de núcleos de vegetação (Kernel) no interior e na envolvente do Jardim da Gulbenkian - situação ilustrativa do período de inverno	112

Figura 57 - Anomalias da temperatura do ar vs densidade de núcleos de vegetação (situação de inverno) no Jardim da Gulbenkian..	113
Figura 58 - Anomalias da temperatura do ar vs densidade de núcleos de vegetação (situação de verão) no Jardim da Gulbenkian..	114

Índice de tabelas

Tabela 1 - Número de espaços verdes analisados em estudos sobre a influência térmica da vegetação no ambiente urbano	15
Tabela 2 - Intensidade máxima da PCI registada em estudos sobre a influência da vegetação no ambiente térmico urbano	18
Tabela 3—Instrumentos, dados e software utilizados	44
Tabela 4 – Designação e localização dos instrumentos dentro e fora do Jardim da Gulbenkian	47
Tabela 5 - Datas de registo de dados de temperatura do ar e humidade relativa em pontos fixos (2018)	52
Tabela 6 - Medições itinerantes no interior e no exterior do Jardim da Gulbenkian (2018): datas e condições meteorológicas gerais	56
Tabela 7 - Medições itinerantes em ruas com e sem vegetação (2018): datas e condições meteorológicas gerais	57
Tabela 8 - Classificação em tipos de tempo em Lisboa (2018)	62
Tabela 9 - Distribuição dos dias por grupos de tipos de tempo em Lisboa (2018)	64
Tabela 10 - Modelos de biomassa testados	70
Tabela 11 – Biomassa estimada na cidade de Lisboa: estatísticas descritivas	78
Tabela 12 - Biomassa dos espaços verdes em Lisboa: estatísticas descritivas	79
Tabela 13 - Biomassa das árvores de arruamento da cidade de Lisboa: estatísticas descritivas	80
Tabela 14 - Descrição dos tipos de tempo em Lisboa analisados entre fevereiro e julho de 2018	84
Tabela 15 - Temperaturas médias horárias no Jardim da Gulbenkian (2018)	85
Tabela 16 - Comportamento das temperaturas médias horárias Jardim Fernando Pessa entre fevereiro e julho de 2018	91
Tabela 17 - PCI no Jardim da Gulbenkian: caracterização estatística geral (fevereiro a julho de 2018)	92
Tabela 18 - PCI no Jardim da Gulbenkian: análise estatística por tipos de tempo (fevereiro a julho de 2018)	94
Tabela 19 - PCI máxima no Jardim da Gulbenkian: caracterização estatística por tipos de tempo e por estações do ano (fevereiro a julho de 2018)	94
Tabela 20 – PCI máxima no Jardim da Gulbenkian: caracterização estatística por tipos de tempo e por períodos diurno e noturno (fevereiro a julho de 2018)	95
Tabela 21 - PCI no Jardim Fernando Pessa: caracterização estatística geral (fevereiro a julho de 2018)	95
Tabela 22- PCI no Jardim Fernando Pessa: análise estatística por tipos de tempo (fevereiro a julho de 2018)	97
Tabela 23 – PCI máxima no Jardim Fernando Pessa: caracterização estatística por tipos de tempo e por estações do ano (fevereiro a julho de 2018)	97
Tabela 24 - PCI máxima no Jardim da Gulbenkian: caracterização estatística por tipos de tempo e por período diurno e noturno (fevereiro a julho de 2018)	98
Tabela 25 - Comportamento do vento (velocidade média) a norte do Jardim da Gulbenkian, na Rua Tenente Espanca (2018): medições itinerantes	102
Tabela 26 - Comportamento do vento (velocidade média) a oeste do Jardim da Gulbenkian, na Rua Ramalho Ortigão (2018) – medições itinerantes	103

Tabela 27 - Matriz de correlação: Distância entre núcleos de vegetação (situação de verão) vs temperatura do ar (Jardim da Gulbenkian)	112
Tabela 28 - Matriz de correlação: Distância entre núcleos de vegetação (situação de inverno) vs temperatura do ar (Jardim da Gulbenkian)	112
Tabela 29 - Regressão linear simples (temperatura do ar vs densidade de núcleos de vegetação): resultados (Jardim da Gulbenkian)	113
Tabela 30 -Regressão linear simples (temperatura do ar vs densidade de núcleos de vegetação): resultados (Jardim da Gulbenkian)	114

Lista de acrónimos e siglas

CML – Câmara Municipal de Lisboa

DP – Desvio-padrão

IUC – Ilha urbana de calor

PCI – Ilha de Frescura

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas/ *Intergovernmental Panel on Climate Change*

IV – Índice de Volumetria

LSI/SI – *Landscape Shape Index/Shape Index*

MDT – Modelo Digital de Terreno

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index

PDM - Plano Diretor Municipal

SVF – *Sky View Factor*

Tmrt - Temperatura radiativa média

UBL - Camada Urbana Superior ou camada limite urbana / *Urban Boundary Layer*

UCL - Camada Urbana Inferior/ *Urban Canopy Layer*

Z0 – Rugosidade Aerodinâmica (comprimento da rugosidade)

1. Introdução

1.1. Relevância do tema

O rápido processo de expansão urbana a que se assiste atualmente tem provocado alterações drásticas nos usos do solo e, consequentemente, mudanças nas cidades. A mais clara modificação é, certamente, o aumento das temperaturas no seio da cidade, comparativamente aos espaços rurais circundantes. Este padrão térmico, conhecido como “ilha urbana de calor” (IUC), tem provocado inúmeras consequências negativas, das quais se salientam os efeitos na saúde e bem-estar da população urbana. Torna-se, assim, inadiável a implementação de medidas que mitiguem a IUC, reduzindo o desconforto térmico humano nas áreas urbanas. Tais estratégias podem ser resumidas em, por um lado o recurso a materiais de construção com maior albedo (aumento da reflexão da radiação solar) e, por outro, o aumento e/ou a otimização dos espaços verdes existentes em meio urbano, sendo esta última uma das opções mais estudadas nos últimos anos, pelo facto de se revelar eficaz na redução das temperaturas superficial e atmosférica, entre outros benefícios, através de dois processos físicos, o efeito de sombra, proporcionado, sobretudo, pela copa da árvore, e a evapotranspiração, onde se verifica uma transferência da energia envolvente da mudança de fase da água que, por conseguinte, faz reduzir a temperatura do ar. Contudo, não se encontram ainda totalmente compreendidos os fatores que influenciam o seu potencial de arrefecimento e as conclusões já obtidas noutros estudos são de difícil generalização.

A cidade de Lisboa, objeto de estudo no presente trabalho, apresenta algumas características climáticas singulares: por possuir um clima temperado, as estações do ano são contrastadas, com um inverno moderado e chuvoso e um verão quente e seco. O regime de ventos, embora com alguma variabilidade sazonal, traduz-se numa elevada frequência de ventos do quadrante N e NW. Contudo, estes têm sofrido um abrandamento provocado pelo crescimento da cidade para norte. Juntam-se a estas características as previsões climáticas futuras, nomeadamente o incremento da frequência e duração dos episódios de calor extremo e ondas de calor, confirmado pelo último relatório sobre alterações climáticas, desenvolvido pelo IPCC, 2014, que também se irá sentir em Lisboa. Ao mesmo tempo, prevê-se que a cidade experiencie um aumento das temperaturas mínimas, médias e máximas e do número de dias muito quentes e noites tropicais, podendo exacerbar os efeitos negativos da IUC.

Por estes motivos torna-se necessário perceber que alterações devem ser efetuadas nas características da cidade por forma a que se mantenham boas condições de habitabilidade e conforto dos cidadãos. Quanto aos espaços verdes, e, embora já se tenham desenvolvido alguns estudos em Lisboa, o seu foco resumiu-se à influência no comportamento da temperatura do ar. Para além disto, o número de áreas verdes examinadas foi reduzido, não permitindo a extrapolação dos resultados a toda a estrutura verde da cidade. Ainda, embora se tenham tecido algumas conclusões sobre isso, não foram identificados de forma clara os fatores que contribuem para o seu potencial de arrefecimento, tendo em conta as características climáticas particulares da cidade de Lisboa.

O presente trabalho pretende ser um contributo para o planeamento dos espaços verdes na capital portuguesa, caracterizando o seu comportamento térmico a partir da análise

pormenorizada de três áreas-amostra e tentando quantificar o seu potencial de arrefecimento da camada limite da atmosfera urbana inferior (UCL).

1.2. Objetivos e questões de partida

A presente investigação tem como objetivo principal determinar o potencial de arrefecimento dos espaços verdes na cidade de Lisboa. Mais especificamente, pretende-se:

- Medir parâmetros climáticos (temperatura, humidade relativa e velocidade do vento) nos jardins escolhidos e ruas arborizadas;
- Estudar o seu comportamento térmico no período temporal analisado;
- Determinar a capacidade de os espaços verdes fazerem diminuir a temperatura do ar;
- Averiguar quais os fatores intrínsecos e extrínsecos aos espaços verdes que determinam o seu potencial de arrefecimento e;
- Estimar a biomassa da cidade de Lisboa.

Por forma a atingir os objetivos anteriores, segue-se um conjunto de questões que se pretende responder com o desenrolar da investigação:

- Como se caracteriza o comportamento dos espaços verdes analisados no ambiente térmico envolvente?
- Os jardins conseguem arrefecer o ar da área em que se localizam? E qual a intensidade das ilhas de frescura (PCI)?
- Até que distância se sente este efeito de arrefecimento? / Como varia este efeito de arrefecimento com o aumento da distância aos jardins?
- Quais os fatores que conseguem explicar este efeito de arrefecimento?
- Que quantidade de biomassa é necessária para a redução de 1°C na temperatura do ar?

1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em sete capítulos principais, a saber: o primeiro, correspondente à introdução, onde se esclarece a motivação do trabalho, bem como os objetivos que se pretende alcançar e as questões que se pretende responder. O segundo capítulo diz respeito à revisão da literatura, onde se apresenta uma breve síntese das características do clima de uma cidade, nomeadamente a IUC e todos os aspetos associados, dando-se especial relevância aos estudos que já analisaram o efeito dos espaços verdes na temperatura do ar. O terceiro capítulo é dedicado à cidade de Lisboa, sendo feito um breve enquadramento geográfico, climático e uma caracterização da vegetação e dos espaços verdes na cidade, terminando-se com uma revisão de estudos anteriores acerca da influência destes espaços no ambiente térmico.

No quarto capítulo é descrita toda a metodologia de trabalho utilizada neste estudo, que engloba a escolha dos espaços verdes a analisar em pormenor, a recolha e tratamento de dados climáticos e a análise de imagens de satélite, bem como a estimação da biomassa da cidade e, por fim, o processo de estimação do potencial de arrefecimento verificado nas áreas-amostra. Os resultados obtidos são apresentados no capítulo 5, onde é feita uma descrição detalhada do

comportamento da vegetação no interior e na envolvente do Jardim da Gulbenkian, no Jardim Fernando Pessa e nas ruas analisadas. Para além disto, são apresentados os resultados da estimacão da biomassa gerada para toda a cidade, do efeito de arrefecimento das áreas-amostra e, ainda do modelo para a estimacão do potencial de arrefecimento a partir da densidade da vegetação. No capítulo seguinte, são interpretados e discutidos os principais resultados obtidos e o último capítulo, correspondente às conclusões, resume, em linhas gerais, o trabalho efetuado, procurando responder às questões de partida propostas inicialmente e apresentando todas as limitações encontradas durante a investigação, bem como propostas de trabalhos futuros.

2. Revisão da literatura

2.1. O clima urbano

Natureza

A instalação de uma cidade vem trazer alterações ao clima desse território. Segundo Oke (1987), o clima urbano resulta das modificações que as superfícies, materiais e as atividades das áreas urbanas provocam nos balanços de energia, massa e movimento. Por outras palavras, o clima de uma cidade é a combinação de três componentes: o efeito regional (exemplo: proximidade ou afastamento do oceano), a componente local, que corresponde às condições específicas de cada cidade, isto é, o meio físico pré-existente, e ainda, os fatores urbanos, respeitantes às modificações provocadas pelos canhões urbanos. Estas componentes encontram-se expressas na equação (1) apresentada por Lowry (1977), citada por Andrade, (2005):

$$M_{i,t,x} = C_{i,t,x} + L_{i,t,x} + U_{i,t,x} \quad (1)$$

Em que:

(M) corresponde ao valor assumido por uma dada variável climática, no espaço urbano x, no momento t e com o tipo de tempo i;

(C) representa o efeito regional;

(L) corresponde ao efeito local e;

(U) identifica o efeito urbano.

Escala de análise meso e microclimáticas

Segundo Alcoforado (2010a,b), Andrade (2003) e Bridgman & Oliver (2006), um dos aspetos mais importantes na compreensão do clima urbano corresponde à escala dos fenómenos climáticos, tanto horizontal como vertical. No que toca à divisão horizontal, torna-se difícil o estabelecimento de categorias espaciais discretas com limites rígidos, uma vez que os fenómenos atmosféricos são contínuos (Oke, 1987). Segundo Andrade (2003, 2005) e Oke (2004), podem distinguir-se três categorias de escalas horizontais (fig. 1), nomeadamente o microclima, que corresponde à influência dos elementos urbanos individuais, como edifícios, ruas, jardins, praças, entre outros, cuja influência direta destes componentes se circunscreve à camada urbana inferior (UCL) e cuja extensão chega a atingir as centenas de metros (Alcoforado, 2010a, 2010b). Agrupando um conjunto de microclimas, isto é, um conjunto de áreas homogêneas quanto à ocupação do solo e topografia, define-se a escala local, que pode abranger fenómenos entre as centenas de metros e alguns km (Alcoforado, 2010b, 2010a) e cuja influência dos seus elementos constituintes restringe-se à UCL ou, por vezes, à *roughness layer* (Oke, 1987). Por último, define-se o mesoclima, referente à influência de uma cidade

no estado do tempo e no clima de uma área superior às suas dimensões (a sua influência atinge, verticalmente, a camada urbana superior (UBL) e, horizontalmente, as dezenas de km) e englobando, por sua vez, vários climas locais. Andrade (2003) realça a ideia de que o clima urbano também depende dos fenómenos de escala climática superior (mesosescala e macroescala).

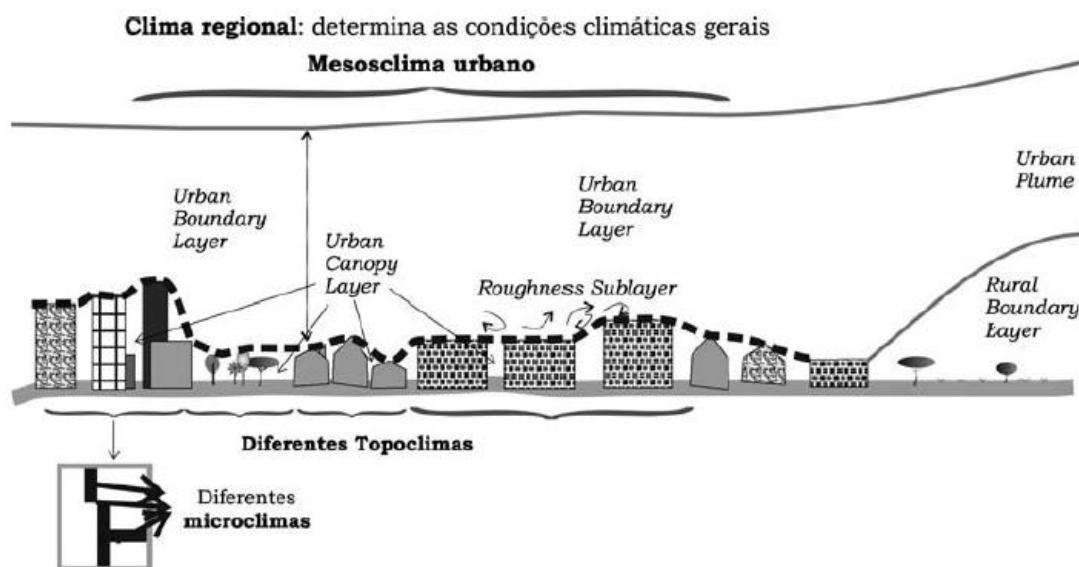


Figura 1 - Estratificação vertical da atmosfera urbana e escalas de análise. Fonte: Andrade, 2005

No âmbito da presente dissertação, podem referir-se as três escalas horizontais definidas por Spronken-Smith et al. (2000), a propósito de um estudo sobre a influência de um parque urbano no ambiente climático: a microescala, que se refere aos padrões térmicos no interior do parque, a escala local, correspondendo à influência do espaço verde na área construída envolvente e, por último, a mesoscala, referente aos fatores externos ao espaço verde. Tendo em consideração esta classificação, na presente dissertação, a análise do comportamento térmico dos espaços verdes (bem como a tentativa de espacialização do mesmo) procedeu-se à escala local, enquanto a estimação da biomassa efetuou-se à mesoscala ou à escala da cidade.

Ainda assim, é importante referir que estas escalas dependem fortemente da dimensão da cidade em estudo.

Em relação à estratificação vertical da atmosfera (fig.1), têm sido amplamente adotadas as divisões definidas por Oke. Segundo este autor, a atmosfera urbana pode ser dividida em duas grandes camadas, UCL e a UBL, separadas pela superfície ativa urbana, isto é, o nível médio dos telhados dos edifícios. A primeira camada corresponde à atmosfera entre os edifícios, enquanto a segunda situa-se imediatamente acima da UCL, sendo, portanto, influenciada pela mesma, isto é, as características de temperatura, humidade, fluxos turbulentos (calor sensível e latente) e composição da atmosfera são influenciadas pela presença da cidade (podendo estender-se até 1,5 km). Esta camada superior pode, por sua vez, ser dividida em duas subcamadas,

nomeadamente a *surface layer* ou camada turbulenta superficial (imediatamente acima do nível dos telhados), caracterizada, de acordo com Alcoforado (2010b), por intensa turbulência de pequena escala, e a *mixed Layer* ou camada de mistura, onde, segundo a mesma autora, domina a convexão livre. Ainda, a camada turbulenta superficial pode ser subdividida em *roughness layer* ou camada de atrito e *constant flux layer* ou camada de fluxo constante. Segundo Oke (1987), a camada de atrito é dominada por um fluxo muito irregular, controlado pela superfície do solo. Bridgman & Oliver (2006) afirmam que, devido à presença de elementos rugosos, como edifícios e árvores, esta camada (que inclui a UCL) possui uma espessura considerável. Por outro lado, a camada de fluxo constante caracteriza-se por uma variação fraca da turbulência com a altitude, onde o fluxo se torna quase uniforme (Alcoforado, 2010b).

Para além destas subdivisões, de acordo com Alcoforado (2010a,b) e Andrade (2005) a UBL pode estender-se para sotavento da cidade, formando uma pluma urbana (fig. 1) ou *Urban Plume*.

O trabalho desenvolvido na presente dissertação incidiu sobre a atmosfera entre os edifícios, isto é, a UCL.

2.2. A ilha urbana de calor (IUC)

A crescente expansão das cidades tem provocado inúmeras mudanças territoriais e, em particular, climáticas, das quais se destaca a formação de IUC, sendo estas consideradas a mais clara modificação devida à ação antrópica (Oke, 1987). Pelo facto de se formarem praticamente em todas as cidades do mundo, independentemente da sua dimensão, sendo que em algumas destas são vistas como uma potencialidade e noutras áreas urbanas como uma limitação, o que depende do macroclima de cada cidade, as IUC têm sido um dos temas da climatologia urbana mais estudado nos últimos anos (Lopes, 2008).

Definição e tipos

O fenómeno da IUC descreve um padrão térmico, normalmente concêntrico, onde as temperaturas (do ar e superficiais) dentro de uma cidade são, normalmente, mais elevadas do que as dos seus arredores e corresponde a uma integração da totalidade dos microclimas originados pelo processo de urbanização (Lopes, 2008; Oke, 1987; Voogt & Oke, 2003). A sua intensidade ou magnitude (Δ_{TU-r}) pode ser definida a partir da máxima diferença entre a temperatura na cidade e a temperatura dos arredores “rurais” ou a temperatura mais baixa de todos os locais com características rurais que envolvem a cidade, num dado momento (Alcoforado, 1992; Alcoforado et al., 2009a; Lopes, 2008; Oke, 1987), variando diária e sazonalmente, de acordo com as condições atmosféricas e geográficas, as características do uso do solo e a morfologia urbana (Arnfield, 2003; Mohajerani et al., 2017). Ao mesmo tempo, este fenómeno está fortemente dependente do comportamento térmico dos materiais da superfície, da sua exposição à radiação solar, da poluição, da diminuição do vento, entre outros (Soltani & Sharifi, 2017).

Tal como foi referido anteriormente, este fenómeno pode ocorrer à superfície (IUC superficial) ou na atmosfera acima do solo (IUC atmosférica). Este segundo tipo pode, ainda, subdividir-se em duas categorias, nomeadamente a IUC do ar imediatamente acima da superfície, isto é, da UCL, limitando-se pelo nível médio do topo dos edifícios e, por outro lado, a IUC da UBL, camada esta onde a temperatura, humidade, turbulência e composição química são modificadas pela presença da cidade. Todos estes tipos diferem na forma como se desenvolvem, nas técnicas utilizadas para a sua identificação, nos efeitos e, de certo modo, nas medidas de mitigação disponíveis (Viveiros, 2017).

A IUC superficial ou “ilha das emissões” é, normalmente, mais intensa durante o período diurno e na estação quente, podendo ser identificada a partir de métodos de deteção remota, nomeadamente imagens de satélite, fotografias aéreas e câmaras térmicas (Cao et al., 2010; Li et al., 2013; Weng et al., 2004). Já a IUC atmosférica ocorre com maior intensidade durante a noite e no inverno, sobretudo em tipos de tempo anticiclónicos, calmos e sem nebulosidade, sendo estas condições as mais favoráveis à diferenciação microclimática (Arnfield, 2003; Lopes, 2008). Quanto aos seus métodos de medição, podem referir-se as observações em estações fixas, por forma a representar o espaço urbano e rural, e as medições itinerantes que, juntas, identificam a IUC da UCL ou, mais recentemente, com base em registadores colocados em pequenos abrigos e instalados em locais escolhidos estrategicamente em meio urbano (Lopes, 2008; Voogt & Oke, 2003). Os mesmos autores também referem que a IUC da UBL pode ser identificada a partir de plataformas como torres, radiossondas e balões (gerando perfis transversais).

Embora se possa analisar separadamente cada um destes fenómenos, é importante referir que todos estes tipos se encontram interrelacionados, uma vez que as temperaturas de superfície influenciam diretamente a temperatura do ar devido ao fenómeno de condução e turbulência mecânica e térmica (Viveiros, 2017).

Causas para a formação da IUC

A expansão das áreas urbanas é considerada a principal causa da formação destes padrões térmicos, provocando notáveis modificações na superfície e, consequentemente, nos balanços radiativo e energético destas áreas (Arnfield, 2003; Oke, 1987; Buyadi et al., 2014; Voogt & Oke, 2003).

Uma destas modificações deve-se à própria geometria urbana, que altera as principais entradas e saídas radiativas (solar e infravermelha) e energéticas (fluxos turbulentos de calor sensível, latente e calor armazenado), sendo essas apontadas como as principais causas da IUC (Oke, 1987).

O desenvolvimento da cidade vem trazer inúmeras alterações nos materiais da superfície (recurso ao betão e asfalto, entre outros), com propriedades muito distintas dos elementos naturais: um albedo mais baixo, traduzindo-se na diminuição da reflexão da radiação solar (pequeno comprimento de onda) e térmica (grande comprimento de onda); emissividade térmica (capacidade de um objeto emitir radiação), no geral, elevada (à exceção do metal),

conduzindo a fenómenos de reflexão múltipla, e uma maior capacidade térmica (relação entre a quantidade de calor que chega a um determinado corpo e a respetiva variação de temperatura). Isto faz com que a absorção da radiação solar incidente seja maior, sendo esta armazenada durante o dia, em grande quantidade, comparativamente às áreas rurais.

Esta acumulação deve-se, ainda, ao efeito de reflexão múltipla, referido anteriormente, e ao reduzido Sky View Factor (SVF - fração do céu que se encontra a descoberto), que favorecem a retenção da radiação de pequeno comprimento de onda e, de certo modo, a radiação térmica. Todo o calor armazenado durante o dia é, depois, libertado durante a noite para o interior dos quarteirões, incrementando a sua temperatura do ar.

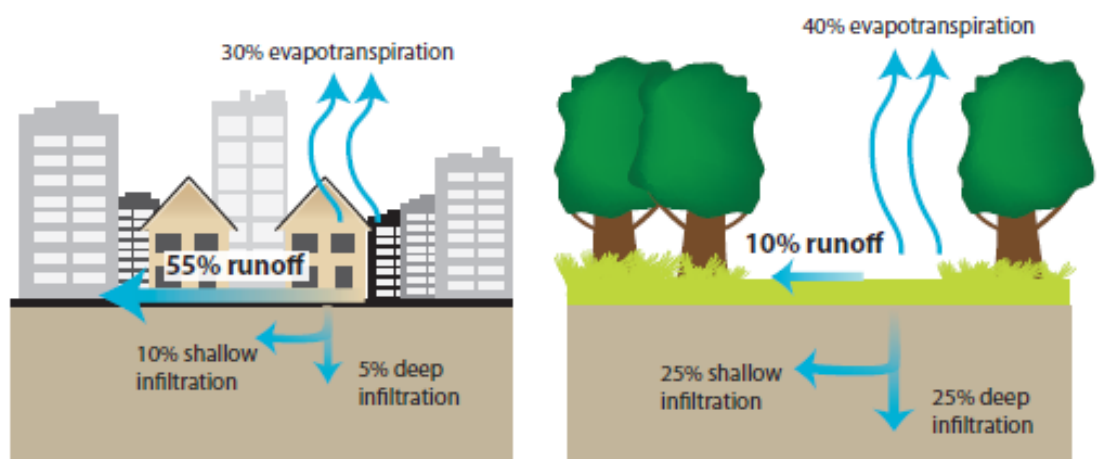
Para além disto, a geometria urbana (arranjo e densidade dos edifícios) conduz à diminuição da velocidade do vento, devido ao aumento da rugosidade, com impactos negativos, nomeadamente as modificações nas transferências de calor por advecção e a fraca dissipação da poluição do ar, sendo esta fruto, essencialmente, das atividades antrópicas (indústria, uso intensificado do automóvel privado e de sistemas de ar condicionado, entre outras).

A poluição atmosférica aumenta a retenção da radiação infravermelha, a partir de alguns gases presentes na atmosfera. Por conseguinte, a radiação térmica emitida pelas superfícies urbanas, sobretudo durante a noite, acaba por ser retida na atmosfera e redirecionada novamente para baixo, incrementando, por sua vez, a temperatura do ar no interior dos canhões urbanos.

Por outro lado, se a superfície urbana se torna cada vez mais impermeabilizada (fraca retenção de água no solo), são escassos os espaços verdes, elementos fundamentais no arrefecimento da temperatura do ar e superficial graças ao processo de evapotranspiração e ao efeito-sombra, elementos abordados com maios pormenor seguidamente, bem como ao seu elevado albedo e à sua capacidade de remoção do CO₂ (fig. 2).

Consequências da IUC

Embora nem todos os efeitos sejam negativos (por exemplos, as cidades da América e Europa do Norte são beneficiadas uma vez que a temperatura na cidade não diminui tanto, evitando o consumo excessivo de energia no inverno; estimulação da atividade biológica (Lopes, 2008), a grande maioria das alterações provocadas pelo fenómeno da IUC tem consequências no bem-estar da população, em particular dos grupos de indivíduos mais vulneráveis, e dos ecossistemas, sobretudo em cidades com clima quente, como é o caso de Lisboa (clima mediterrânico).



Highly developed urban areas (right), which are characterized by 75%-100% impervious surfaces, have less surface moisture available for evapotranspiration than natural ground cover, which has less than 10% impervious cover (left). This characteristic contributes to higher surface and air temperatures in urban areas.

Figura 2 - O efeito das superfícies impermeabilizadas vs espaços verdes na menor ou maior evapotranspiração e no escoamento e infiltração da água nos solos. Fonte: <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>

Destas consequências podem destacar-se o aumento desmesurado do consumo de energia para arrefecimento (procura de ar condicionado no verão); modificações no conforto térmico, que condicionam diretamente a saúde dos habitantes (problemas de saúde derivados direta ou indiretamente do calor); aumento da taxa de formação de ozono, provocando o agravamento das doenças cardiorrespiratórias; diminuição da qualidade do ar e da água, sendo esta última fruto do aquecimento das águas pluviais por parte dos materiais de construção, afetando a vida aquática à medida que estas águas chegam aos rios e outros corpos de água; a intensificação dos impactos dos episódios de calor extremo (ondas de calor), com repercussões na mortalidade; as alterações nos padrões de vento, humidade e precipitação; o aumento da frequência e magnitude de inundações urbanas (devido à impermeabilidade dos materiais) e, ainda, perturbações na composição e distribuição de espécies devido ao adiantamento da floração, uma das fases fenológicas (Alves & Lopes, 2017; Gago et al., 2013; Oke, 1987).

Por conseguinte, nos últimos anos, têm sido estudadas e discutidas várias medidas de mitigação destes efeitos.

Estratégias de mitigação

Embora a IUC seja um fenómeno extremamente estudado, os seus efeitos no clima urbano só receberam atenção mais recentemente (Akbari & Kolokotsa, 2016), fruto das preocupações com as alterações climáticas globais que se fazem sentir nos dias de hoje e que serão mais evidentes no futuro. Assim, a mitigação dos seus efeitos pode contribuir para a redução dos impactos destas alterações climáticas. Neste sentido, é necessário compatibilizar o processo de urbanização, que se faz sentir cada vez mais, com o conceito de sustentabilidade, sendo esta a nova utopia urbana, isto é, uma cidade sustentável, cujos impactos sobre o ambiente são

minimizados sem a redução da qualidade de vida dos moradores (Alcoforado e Vieira, 2004). Ora, o planeamento surge como meio para se alcançar este propósito, tornando o espaço urbano mais habitável e atrativo. De acordo com Gago et al. (2013), devem ser tidos em conta três elementos no planeamento urbano, uma vez que influenciam fortemente a variação das temperaturas na cidade, à escala local: os edifícios, os espaços verdes e os pavimentos.

Assim sendo, as inúmeras medidas de mitigação da IUC referidas na bibliografia podem ser sumariadas em dois grandes vetores: as modificações nos materiais de construção, em particular o aumento da refletância solar/modificação do albedo da superfície e o incremento da evapotranspiração (AboElata, 2017; Venhari et al., 2017; Akbari & Kolokotsa, 2016; Lopes, 2008).

Quanto ao primeiro conjunto, defende-se o uso de materiais com um albedo elevado (*“cool colors, cool materials”*), intensificando a reflexão da radiação solar, diminuindo a absorção e armazenamento. Ao mesmo tempo, estes materiais devem ser mais permeáveis e com capacidade de retenção de água. Desta forma, é possível reduzir as temperaturas de superfície. Portanto, torna-se relevante a escolha dos materiais de construção dos edifícios tendo em conta as suas propriedades refletivas e de emissão.

Quanto ao segundo conjunto de medidas, tem-se apostado no aumento da vegetação nas cidades, que proporcionam um maior efeito-sombra, que diminui a temperatura de superfície e, ao consumirem energia do ambiente envolvente, através do processo de evapotranspiração, conseguem reduzir a temperatura do ar. No entanto, nem sempre é possível incrementar a área ocupada por jardins, parques, entre outros, devido à pouca superfície do solo disponível em meio urbano para o fazer, apostando-se, em alternativa ou, como adição, no uso de telhados (*“greenroofs”*) e fachadas cobertas por vegetação. Ainda assim, de acordo com Lopes (2008), o aumento da vegetação ao nível do solo poderá ser mais vantajoso devido à maior variedade de espécies que podem ser utilizadas, nomeadamente árvores, já que estas apresentam um albedo relativamente superior ao da vegetação nos telhados verdes, contribuindo, igualmente, para o arrefecimento da atmosfera junto ao solo, “filtrarem o ar” e fornecerem sombra.

Ainda, têm sido surgeridas outras medidas que poderão contribuir para a redução dos efeitos deste padrão térmico, tais como técnicas de construção que promovam um correto escoamento dos ventos nas áreas críticas das cidades (Leandro, 2011).

Contudo, é importante referir que o tipo de propostas de mitigação da IUC depende fortemente da escala a que se pretende implementá-las. No entanto, denota-se que processo de planeamento urbano tem sido dificultado pela falta de articulação entre a investigação científica e o ordenamento do território, isto é, entre a teoria e a sua aplicação prática no espaço, pelo que a presença de informação climática útil nos instrumentos de apoio ao planeamento urbano ainda é relativamente escassa (Alcoforado e Vieira, 2004).

De seguida, encontra-se uma descrição detalhada dos benefícios associados à presença de vegetação e, em particular, dos espaços verdes em meio urbano, com foco na influência no ambiente térmico.

2.3. Os espaços verdes como estratégia de mitigação da IUC

A vegetação tem sido considerada um elemento fundamental na qualidade de vida da população urbana, sobretudo numa conjuntura atual de alterações climáticas introduzidas pela ação antrópica, com fortes consequências na saúde e conforto humano.

Os espaços verdes urbanos incluem florestas, parques, ruas arborizadas, jardins, telhados e fachadas com vegetação (Anguluri & Narayanan, 2017; Gunawardena et al., 2017; Haq, 2011; Zardo et al., 2017), sendo que estes dois últimos tipos não irão ser alvo de análise na presente dissertação. Andrade (2003) e Andrade & Vieira (2005) defendem a importância da noção de escala para a compreensão do papel da vegetação na cidade, onde distinguem o efeito de plantas individuais das áreas verdes.

Embora o foco deste trabalho seja os efeitos dos espaços verdes no clima urbano, em particular no ambiente térmico, os seus benefícios vão muito para além deste domínio. Podem ser destacados a melhoria do conforto bioclimático, a manutenção e o incremento da biodiversidade, a melhoria da qualidade do ar (absorção de poluentes atmosféricos e partículas; redução dos níveis CO_2 ; libertação de oxigénio; fixação de poeiras) e da água, a proteção dos ventos, a redução dos níveis de ruído, os benefícios hidrológicos (diminuição do escoamento superficial e da frequência das cheias, através da interceção da precipitação e do aumento da retenção da água no solo) e a diminuição do risco de erosão do solo. Podem, ainda, distinguir-se outro tipo de benefícios: socioculturais (constituindo-se como áreas de lazer, recreio, valorização estética da paisagem e com funções educativas e pedagógicas; contribuem para a saúde física e mental dos habitantes da cidade) e económicos, de entre os quais se salientam a valorização do património imobiliário e da atividade turística (Alcoforado et al., 2009b; Andrade, 2003; Soares, 2006; Streiling & Matzarakis, 2003; Voogt & Oke, 2003). Para além disto, de acordo com Taleghani et al. (2014), o custo médio relativo à plantação de árvores é inferior a todas as outras estratégias de mitigação da IUC, com exceção dos telhados verdes. No entanto, estes apenas contribuem para a redução da temperatura do ar na atmosfera acima dos topos dos edifícios e, embora esta vantagem se revista de alguma importância, não contribui, pelo menos diretamente, para a melhoria das condições de temperatura e humidade imediatamente acima do solo, onde se desenrolam a maior parte das atividades humanas.

Quanto aos efeitos climáticos da vegetação, podem referir-se as modificações no balanço radiativo, nomeadamente a interceção da radiação solar incidente, as alterações na radiação solar refletida (maior albedo) que culminam na diminuição do aquecimento diurno da superfície e na redução da radiação emitida infravermelha térmica, tendo como consequência a diminuição da temperatura superficial (Andrade & Vieira, 2007). Para além destes, tem-se observado um aumento de humidade relativa do ar, devido ao vapor de água libertado no processo evapotranspiração da vegetação, reduções significativas na velocidade do vento junto ao solo (no entanto, em extensas áreas abertas, a disposição das árvores pode gerar um efeito de aceleração dos ventos), geração de sistemas locais de advecção, por exemplo brisas de parque, e o arrefecimento dos edifícios e do corpo humano (Andrade & Vieira, 2005, 2007; Dimoudi & Nikolopoulou, 2003; Oke, 1987; Soares, 2006; Streiling & Matzarakis, 2003; Velho, 2012; Voogt & Oke, 2003).

Por um lado, o efeito-sombra traduz-se na intercepção da radiação solar incidente, refletindo-a em maior quantidade, transmitindo-a através das folhas e reduzindo a absorção e armazenamento de energia pelas superfícies e o consequente aquecimento do ar (Doick & Hutchings, 2013; Gago et al., 2013; Shashua-Bar & Hoffman, 2000; Voogt & Oke, 2003). No entanto, este processo está dependente do tipo de cobertura do solo, do tipo de espécie (dimensões, período de foliação, entre outros), das suas dimensões (altura, copa e forma da árvore), da altura do ano em que estas se apresentam com e sem folhas, do seu coeficiente de ensombramento (correspondente à percentagem da luz que atravessa os espaços abertos da copa da árvore relativamente à luz que incide sobre a copa) e do seu espaçamento e disposição, sendo mais significativo em climas quentes e secos (Soares, 2006; Venhari et al., 2017; Viveiros, 2017).

Por outro lado, o processo de evapotranspiração consiste na perda de água de uma dada planta para a atmosfera, sob a forma de vapor de água (Bowler et al., 2010) e corresponde à soma dos processos de evaporação e transpiração das espécies vegetais (Souch & Souch, 1993). Por conseguinte, dá-se um consumo de energia do ambiente envolvente, incrementando o calor latente, em detrimento do calor sensível, o que se traduz no aumento da humidade e na diminuição da temperatura do ar (Barradas, 1991; Venhari et al., 2017). Este processo está fortemente dependente de fatores ambientais locais como a temperatura do ar, a quantidade de CO₂ e a água presente no solo, bem como das características das plantas. Considera-se que seja mais eficaz na redução da temperatura, comparativamente ao efeito-sombra (Kong et al., 2017).

Graças a estes dois processos, os espaços verdes urbanos encontram-se, normalmente, mais frescos do que os seus arredores, sendo que o seu efeito combinado pode diminuir a temperatura atmosférica em mais de 5°C (Akbari et al., 1992), e funcionam como PCI (corresponde, em linhas, gerais, à diferença entre a temperatura de um espaço verde e a sua área envolvente), onde a temperatura vai aumentando à medida que a distância aumenta. Este efeito de arrefecimento estende-se, assim, para as áreas circundantes através dos processos de advecção.

Apesar da grande maioria dos efeitos dos espaços verdes serem positivos, a presença de vegetação muito densa pode dificultar a dispersão da poluição atmosférica e a remoção de gases devido ao abrandamento da velocidade de vento. Esta redução da velocidade do vento poderá gerar situações de desconforto térmico, sobretudo na estação mais quente, impedindo a renovação do ar. Ao mesmo tempo, em situações de vento forte podem ocorrer quedas de árvores ou ramos (Ribeiro, 2011), entre outros. Por outro lado, um incorreto planeamento urbano, sem se ter em consideração o tipo de espécies e a sua localização e manutenção, poderá incrementar os custos ambientais e o consumo de energia nos edifícios, danificar as infraestruturas e aumentar o consumo de água (McDonald et al., 2016).

No ponto seguinte, apresentam-se e discutem-se os vários trabalhos que se dedicaram ao estudo da influência da vegetação, sobretudo na temperatura do ar.

2.4. A influência dos espaços verdes no ambiente térmico envolvente

O contributo das áreas verdes para a redução das temperaturas urbanas tem recebido grande destaque nos últimos anos (Shashua-Bar et al., 2009; Zoulia et al., 2009), sobretudo na zona

temperada do globo (Bowler et al., 2010). Pelo contrário, são escassos os trabalhos em cidades com climas tropicais e subtropicais (Chow et al., 2016; Lin & Lin, 2010; Spronken-Smith & Oke, 1998) e nas regiões mais frias do globo (Yang et al., 2017) .

Apesar do grande volume de trabalhos, a comparação dos seus resultados e a sua generalização têm-se revelado tarefas difíceis (Andrade, 2003; Bowler et al., 2010; Chang et al., 2007; Feyisa et al., 2014). Em primeiro lugar, tal como se observa na tabela 1, são analisados poucos espaços verdes dentro de uma área urbana, sendo que, na maior parte dos casos, o estudo se remete apenas a um único jardim, sendo a grande maioria muito recente e dedicando-se, sobretudo, ao estudo da influência das áreas verdes na temperatura de superfície, através da deteção remota, nomeadamente imagens de satélite, que possuem vantagens logísticas e de cariz económico para o tratamento e análise de múltiplos espaços, comparativamente às técnicas tradicionais de recolha de dados com base em medições de parâmetros climáticos.

Por outro lado, são reduzidos os estudos que se dedicam à influência de pequenos espaços verdes ou mesmo de árvores isoladas ou agrupadas em clusters ao longo das ruas (Andrade, 2003). Como exemplos citam-se os trabalhos de Dimoudi & Nikolopoulou, 2003; Georgi & Zafiriadis, 2006; Shashua-Bar & Hoffman, 2000, 2004; Streiling & Matzarakis, 2003; e Zhao et al. 2018. Embora o seu potencial de arrefecimento possa ser significativamente menor comparativamente a espaços verdes de maiores dimensões, não deve ser negligenciável, uma vez que mesmo uma única árvore isolada pode afetar a temperatura da sua área envolvente (Saito *et al.*, 1991, citados Shashua-Bar & Hoffman, 2000).

Quanto ao período de recolha de dados, na generalidade dos casos é relativamente curto (Ping et al., 2016), restringindo-se a apenas alguns dias ou um único dia e fornecendo, por conseguinte, informação insuficiente para que se compreendam totalmente os efeitos destas áreas no ambiente térmico urbano. Ao mesmo tempo, este período cinge-se, sobretudo, à estação mais quente do ano (Cohen et al., 2012; Yu et al., 2017).

Citam-se, como exemplos, os seguintes estudos: Georgi & Zafiriadis (2006), Lin & Lin (2010), Monteiro et al. (2016), Petralli et al. (2009), Potchter et al. (2006), Shashua-Bar & Hoffman, (2000), Shashua-Bar et al. (2009), Spronken-Smith & Oke (1998), Teles (2013) e Zoulia et al., (2009). Contudo, o efeito de arrefecimento de um determinado espaço verde varia ao longo das estações do ano, devido às mudanças que a vegetação vai sofrendo. Por conseguinte, é fundamental que o período de recolha de dados se estenda ao longo de, pelo menos, um ano completo (Zhang et al., 2013). Até à data, são significativamente reduzidos os trabalhos que tenham avaliado a variação sazonal do efeito de arrefecimento, de entre os quais se salientam: Ali (2013), Colunga et al. (2015), Hamada & Ohta (2010), Leal et al. (2008), Lee et al. (2009), Ren et al. (2013) e Zhang et al. (2013).

Ao mesmo tempo, as variáveis climáticas em análise resumem-se à temperatura e humidade relativa, sendo, na maior parte dos casos, negligenciados os efeitos do vento, entre outros (Cohen et al., 2012).

Tabela 1 - Número de espaços verdes analisados em estudos sobre a influência térmica da vegetação no ambiente urbano

Nº de espaços verdes	Referências bibliográficas
1	Teles, 2013; Doick et al., 2014; Hamada & Ohta, 2010; Jansson et al., 2007; Lee et al., 2009; Lin & Lin, 2010; Petralli et al., 2009; Ping et al., 2016; Velho, 2012; Taha et al., 1991; Zoulia et al., 2009
2 a 5	Ali, 2013; Barradas et al., 1991; Chen & Wong, 2006; Eliasson & Upmanis, 2000; Leal et al., 2008; Potchter et al., 2006; Upmanis et al., 1998
6 a 10	Chen et al., 2012; Park et al., 2012; Spronken-Smith & Oke, 1998; Monteiro et al., 2016
Mais de 10	Cao et al., 2010; Chang & Li, 2014; Chang et al., 2007; Feyisa et al., 2014; Ren et al., 2013; Shashua-Bar & Hoffman, 2000

São várias as referências que apontam também a carência de estudos que avaliem a relação entre as características dos espaços verdes (como o tipo e densidade da vegetação, a forma e a dimensão dos espaços, a percentagem de áreas pavimentadas no seu interior, entre outras) e o seu potencial de arrefecimento, bem como os elementos que influenciam a distância a que se sente este efeito, embora já exista alguma bibliografia que trate estes assuntos (Bowler et al., 2010; Cao et al., 2010; Chen et al., 2012; Kong et al., 2014; Ren et al., 2013; Shashua-Bar et al., 2009).

Ainda são muito escassos os estudos que analisem espaços verdes em cidades distintas (Bowler et al., 2010; Shashua-Bar et al., 2009) e, portanto, com condições climáticas diferenciadas. De acordo com os mesmos autores, este tipo de trabalho reveste-se de alguma importância, uma vez que o clima de uma cidade, particularmente as características da precipitação e da temperatura afetam a capacidade de arrefecimento de um espaço verde. Portanto, cada cidade possui características climáticas e topográficas únicas, pelo que o efeito da vegetação no ambiente térmico poderá ser distinto em cada uma delas. Dois dos poucos exemplos deste tipo de trabalhos são o estudo desenvolvido por Spronken-Smith & Oke (1998) em vinte espaços verdes das cidades de Sacramento (EUA) e Vancouver (Canadá) e o trabalho de Akbari et al. (1992), em quatro cidades canadianas (Toronto, Montreal, Vancouver e Edmonton).

Por último, mas não menos importante, os resultados obtidos nos vários estudos relativos ao potencial de arrefecimento diferem consideravelmente. Tal deve-se ao elemento climático em análise (o potencial de arrefecimento de uma área verde na temperatura do ar é certamente distinto do potencial de arrefecimento na temperatura superficial), às características dos espaços verdes e dos ambientes em que os mesmos se inserem, isto é, ao enquadramento (climático, topográfico, etc) de cada área verde e, ainda, aos diferentes métodos de análise utilizados (Andrade, 2003; Du et al., 2017; Feyisa et al., 2014). Relativamente a este último ponto e no que concerne à temperatura do ar, em grande parte da bibliografia analisada recorreu-se a medições de parâmetros climáticos como a temperatura, humidade relativa e velocidade do vento (Ali,

2013; Souch & Souch, 1993; Chang & Li, 2014; Colunga et al., 2015; Doick et al., 2014; Georgi & Dimitriou, 2010; Hamada & Ohta, 2010; Lee et al., 2009; Lin & Lin, 2010; Makhelouf, 2009; Petralli et al., 2009; Shashua-Bar et al., 2009; Spronken-Smith & Oke, 1998), enquanto uma pequena porção dos estudos apenas se baseou em modelos numéricos para estimar o potencial de arrefecimento de cada área verde (Gromke et al., 2015; Middel et al., 2015; O'Malley et al., 2015; Rafiee et al., 2016; Robitu et al., 2006; Vidrih & Medved, 2013; Wong & Jusuf, 2010). Verifica-se, ainda, que uma outra porção considerável dos trabalhos optou pelos dois métodos (medição de dados e modelação numérica): Duarte et al. (2015), Gromke et al. (2015), Lee et al. (2016), Mariani et al. (2016), Ng et al. (2012), Rafiee et al. (2016), Tan et al. (2016), Monteiro et al. (2016) e Zhang et al. (2014).

Focando apenas os estudos que, efetivamente, recolheram dados climáticos em campo, observa-se que uma porção optou apenas por medições itinerantes (Eliasson & Upmanis, 2000; Streiling & Matzarakis, 2003; Teles, 2013), enquanto alguns autores recorreram a medições em pontos fixos instalados dentro e fora dos espaços verdes em questão (Hamada & Ohta, 2010; Lee et al., 2009; Petralli et al., 2009; Tan et al., 2016; Upmanis & Chen, 1999; Zhang et al., 2013).

Para além disto, outros estudos socorreram-se de ambos os métodos de recolha de dados (Barradas et al., 1991; Jonsson, 2004; Kurn et al., 1994; Leal et al., 2008; Lee et al., 2009; Lu et al., 2012; Potchter et al., 2006; Velho, 2012; Zoulia et al., 2009).

Ainda, relativamente aos métodos de recolha de dados, existem outros parâmetros que poderão influenciar os resultados obtidos, nomeadamente a altura acima do solo a que são feitas as medições (embora existam recomendações para a altura a que devem ser instalados os instrumentos, não sempre são possíveis de se cumprir, devido a ações de vandalismo e possíveis furtos dos equipamentos), o tipo de instrumento utilizado e o momento do dia em que são recolhidos os dados, sendo que a maioria dos estudos procurou efetuar medições apenas durante o período diurno (Feyisa et al., 2014; Georgi & Zafiriadis, 2006; Kurn et al., 1994; Lin & Lin, 2010; Ng et al., 2012; Park et al., 2017; Tan et al., 2016; Teles, 2013; Zoulia et al., 2009), pelo facto do usufruto destes espaços se registar, sobretudo, durante este momento do dia.

No que toca aos estudos que se dedicaram à influência das áreas verdes na temperatura de superfície, a sua quase totalidade recorreu a imagens de satélite, sendo escassos os trabalhos que efetivamente realizaram medições da temperatura superficial (exemplo: Lin & Lin, 2010).

Face a todas as limitações enumeradas, tornam-se claras as dificuldades no estabelecimento de recomendações específicas para o planeamento, gestão e otimização dos espaços verdes, por forma a mitigar a IUC.

Ainda assim, apresentam-se e discutem-se, de seguida, algumas das conclusões obtidas pelos vários estudos, no que concerne à influência na temperatura do ar.

A influência dos espaços verdes na temperatura do ar

Segundo Andrade (2003) e Soares (2006) a influência na temperatura do ar tem sido o aspeto do comportamento climático dos espaços verdes mais estudado.

Embora os primeiros trabalhos no espaço urbano tenham surgido na década de 1960 (Chandler, 1965, citado por Upmanis & Chen, 1999), é na última década do século XX que se assiste a um forte crescimento dos estudos sobre o efeito da vegetação no clima citadino, tema este que se tem mantido em voga até à época atual.

Denota-se, portanto, uma grande preocupação na avaliação da eficácia dos espaços verdes na melhoria da qualidade ambiental urbana e na mitigação da IUC, procurando-se identificar os contrastes térmicos entre estas áreas e a sua envolvente.

Relativamente a estes contrastes, os resultados obtidos apresentam grande variabilidade, podendo atingir e, mesmo, suplantam, os 7°C de diferença máxima, tal como se pode verificar na tabela 2.

A título de exemplo, Spronken-Smith & Oke, 1998, no seu estudo sobre o comportamento térmico dos espaços verdes em Vancouver (Canadá) e Sacramento (EUA), registaram um efeito de arrefecimento máximo de 7°C nos espaços verdes irrigados (com dimensões compreendidas entre os 2 e os 15ha), em Sacramento.

De igual modo, Zoulia et al. (2009) avaliaram o efeito de um único espaço verde na IUC de Atenas, Grécia, e registaram uma diferença máxima de 13°C entre o jardim e uma das ruas na sua envolvente. Ainda assim, uma porção significativa dos estudos efetuados apenas encontrou intensidades máximas de arrefecimento inferiores a 5°C, tal como se pode observar na tabela 2.

Por forma a sintetizar os dados sobre o efeito de arrefecimento dos espaços verdes, Bowler et al. (2010) recorreram a uma meta-análise dos estudos efetuados até à data e concluíram que, em média, durante o dia, uma área verde está 1°C mais fresca do que os seus arredores.

Para além da sua variabilidade espacial, os contrastes térmicos apresentam uma elevada variabilidade temporal, quer seja estacional ou diária. As diferenças estacionais têm recebido menor destaque, uma vez que, tal como foi referido anteriormente, a maioria dos estudos efetuou medições durante o verão. Ainda assim, dos trabalhos que se dedicaram às variações térmicas ao longo do ano, destacam-se em maior número os que encontraram diferenças mais acentuadas no verão (Cohen et al., 2012; Hamada & Ohta, 2010; Lee et al., 2009; Makhelouf, 2009; Susca et al., 2011; Yang et al., 2017; Zhang et al., 2013).

Relativamente aos contrastes térmicos diários, foram encontradas diferenças positivas, ou seja, temperaturas atmosféricas mais baixas nos espaços verdes do que nos seus arredores, tanto de dia (Cohen et al., 2012; Shashua-Bar et al., 2009; Yang et al., 2017), sobretudo no início da tarde (Ali, 2013; Barradas et al., 1991; Colunga et al., 2015; Tan et al., 2016; Zhang et al., 2013), como de noite (Li & Norford, 2016; Ping et al., 2016; Spronken-Smith & Oke, 1998; Zoulia et al., 2009).

De acordo com Spronken-Smith & Oke (1998), os contrastes térmicos entre os espaços verdes e a sua área envolvente desenvolvem-se em condições similares às IUC, isto é, em noites calmas e sem nebulosidade. Outros autores encontraram variações estacionais no momento do dia em que são atingidas as maiores diferenças térmicas.

Tabela 2 - Intensidade máxima da PCI registada em estudos sobre a influência da vegetação no ambiente térmico urbano

Intensidade máxima da PCI	Referências bibliográficas
Até 2°C	Souch & Souch, 1993; Duarte et al., 2015; Gromke et al., 2015; Hamada & Ohta, 2010; Jonsson, 2004; Li & Norford, 2016; Tan et al., 2016; Wong & Jusuf, 2010
Entre 2°C e 5°C	Chen & Wong, 2006; Doick et al., 2014; Georgi & Dimitriou, 2010; Makhelouf, 2009; Park et al., 2017; Petralli et al., 2009; Potchter et al., 2006; Shashua-Bar et al., 2010; Shashua-Bar & Hoffman, 2000; Vidrih & Medved, 2013; Zhang et al., 2013
Superior a 5°C	Barradas et al., 1991; Teles, 2013; Spronken-Smith & Oke, 1998; Upmanis et al., 1998; Upmanis & Chen, 1999; Zoulia et al., 2009

Embora a quase totalidade dos trabalhos sobre esta temática tenha registado efeitos positivos na redução das temperaturas atmosféricas, alguns autores defendem que, por vezes, os espaços verdes podem estar mais quentes do que os seus arredores, gerando situações de desconforto térmico (Grimmond et al., 1996; Potchter et al., 2006). Tal deve-se ao tipo de vegetação (espaços verdes compostos maioritariamente ou exclusivamente por relva não serão eficazes no arrefecimento da temperatura do ar) e à porção de pavimentos existentes no seu interior (Venhari et al., 2017). Em alguns casos, registou-se a formação de ilhas de calor durante a noite nestes espaços (Chang & Li, 2014; Taha et al., 1991).

Juntamente com o máximo potencial de arrefecimento dos espaços verdes, a distância máxima a que se sente este efeito é um dos aspetos mais importantes a considerar na análise da sua performance térmica. Dos resultados obtidos nos vários estudos podem destacar-se Chen et al., 2012; Du et al., 2017; Upmanis et al., 1998; Zhang et al., 2013; e Zoulia et al., 2009), que identificaram reduções na temperatura do ar até 1 km de distância ou mais dos espaços verdes analisados e, por outro lado, o trabalho de Spronken-Smith & Oke (1998), na qual se procurou encontrar uma regra geral para a determinação da área de influência de cada espaço verde, tendo concluído que o efeito de arrefecimento estende-se, aproximadamente, a uma distância igual a largura do mesmo. Por outro lado, Jauregui (1990), citado por Cheng et al. (2015), efetuou medições da temperatura do ar num espaço verde com 500ha, na cidade do México, tendo concluído que o mesmo se encontra 3-4°C mais fresco do que a sua área envolvente e este efeito de arrefecimento sente-se até uma distância de 2 km, equivalente à sua largura. Ainda, Upmanis et al. (1998) analisaram a influência térmica noturna de três espaços verdes (156ha) em Gotemburgo (Suécia), tendo registado uma área de influência ligeiramente superior ao estudo anterior, cerca de 1,1 km, no parque de maiores dimensões, enquanto um outro parque, com 3,6ha, apenas registou uma área de influência de 20 a 30 m. No entanto, as distâncias registadas apresentam grande variabilidade temporal, sobretudo diária, e espacial (Venhari et al., 2017).

De todos estes trabalhos se poderá concluir que a dimensão do espaço verde é um dos fatores determinantes na sua eficiência térmica. De facto, a potenciação deste efeito de arrefecimento

requer o conhecimento detalhado das características destes espaços e da forma como as mesmas condicionam a capacidade de redução da temperatura do ar. Destas, a área dos espaços verdes é, sem dúvida, a mais estudada, concluindo-se, na quase totalidade dos casos, que quanto maior o espaço verde, maiores serão as diferenças de temperatura entre o mesmo e as áreas construídas envolventes e, portanto, mais acentuado será o efeito de arrefecimento e a sua distância de influência (Ali, 2013; Chang & Li, 2014; Dimoudi & Nikolopoulou, 2003; Doick & Hutchings, 2013; Gunawardena et al., 2017; Hamada & Ohta, 2010; Shashua-Bar & Hoffman, 2000; Monteiro et al., 2016; Zhang et al., 2014; Zoulia et al., 2009). Por vezes, é encontrada uma dimensão mínima a partir da qual se sentem efeitos no arrefecimento. A título de exemplo, Doick & Hutchings (2013) concluíram que o efeito de arrefecimento em espaços verdes no Reino Unido com áreas inferiores a 5ha é quase nulo, podendo ser negligenciável. Por conseguinte, recomendam como dimensão mínima 0,5 ha para que se atinga um arrefecimento a distâncias significativas para além das fronteiras dessas áreas.

Ainda, Lu et al. (2012), propondo-se a avaliar de que forma as características de seis espaços verdes em Chongqing (China) afetam o seu potencial de arrefecimento, provou que existe um limite mínimo a partir do qual se observa uma redução na temperatura do ar, neste caso 14ha.

Embora esta correlação entre dimensão e efeito de frescura se tenha verificado em muitos dos espaços verdes analisados, alguns autores também referem que a mesma não é linear (Bowler et al., 2010; Chang et al., 2007; Gago et al., 2013; Monteiro et al., 2016) e, uma vez que os estudos foram efetuados em zonas climáticas distintas, os efeitos de diferentes climas não foram controlados (Chang & Li, 2014) sendo a mesma uma das limitações deste tipo de trabalho referidas anteriormente. Os mesmos autores reforçam, portanto, a necessidade de um estudo sistemático para determinar com maior certeza a relação entre as dimensões dos espaços verdes e as suas zonas de arrefecimento.

Para além da dimensão, vários autores referem que o efeito de arrefecimento depende de outras características como a morfologia urbana das áreas envolventes, o contexto topográfico, as condições meteorológicas locais e regionais (incluindo a direção do vento) a distância ao espaço verde e a radiação solar incidente (variação sazonal), variando este efeito em magnitude, no tempo e no espaço (Akbari & Kolokotsa, 2016; Bowler et al., 2010; Gago et al., 2013; Potchter et al., 2006; Shashua-Bar & Hoffman, 2000, 2004; Shiflett et al., 2017; Zardo et al., 2017).

Relativamente aos estudos que tenham, de alguma forma, avaliado as diferenças entre espécies vegetais, embora sejam mais reduzidos (Armson, et al., 2012; Bueno-bartholomei & Labaki, 2010; Fung & Jim, 2017; Gillner et al., 2015; Jonsson, 2004; Leuzinger et al., 2010; Shashua-Bar et al., 2009, 2010; Lin & Lin, 2010; Potchter et al., 2006; McDonald et al., 2016), concluíram que o tipo de espécie influencia significativamente o potencial de arrefecimento de um dado espaço verde. As espécies arbóreas têm revelado maior potencial de arrefecimento, comparativamente às espécies arbustivas ou, mesmo, espécies herbáceas, como os relvados (Cao et al., 2010; Hamada & Ohta, 2010), sendo que estas últimas podem, por vezes, encontrar-se mais quentes do que as áreas envolventes (Souch & Souch C., 1993; Fung & Jim, 2017; Gago et al., 2013; Lee et al., 2016; Ng et al., 2012; Potchter et al., 2006; Teles, 2013; Yu et al., 2017). Tal deve-se ao facto de ao contrário das árvores a relva proporcionar um arrefecimento do ar apenas através do processo de evapotranspiração (sendo este reduzido uma vez que a quantidade de biomassa

é menor), não existindo, portanto, o efeito sombra, que se tem mostrado importante para a redução das temperaturas (Bowler et al., 2010). Contudo, a sua irrigação pode produzir um efeito de arrefecimento (Spronken-Smith & Oke, 1998; Taha et al., 1991), uma vez que há um incremento do processo de evapotranspiração. Desta forma, a irrigação dos espaços verdes é outro fator que contribui para a sua eficiência térmica.

Apesar das diferenças dentro e fora dos espaços verdes urbanos terem sido menos estudadas, a humedificação da atmosfera é outro dos benefícios atribuídos a estas áreas (Andrade, 2003). Os poucos estudos que a mediram concluíram que, de facto, os espaços verdes encontram-se mais húmidos comparativamente às áreas construídas envolventes (Ali, 2013; Barradas et al., 1991; Colunga et al., 2015; Hamada & Ohta, 2010; Makhelouf, 2009; Potchter et al., 2006; Shashua-Bar et al., 2009; Spronken-Smith & Oke, 1998; Streiling & Matzarakis, 2003).

Por outro lado, o efeito de corpos de água no interior de um espaço verde é um dos fatores raramente considerado aquando da avaliação da eficiência térmica destas áreas (O'Malley et al., 2015; Pezzuto, 2015; Ping et al., 2016; Robitu et al., 2006), pelo que as poucas conclusões daí retiradas carecem de consistência. Ainda assim, tem-se concluído que o efeito de arrefecimento destes elementos não supera as vantagens térmicas dos espaços verdes (Qiu et al., 2017).

Com base nos resultados acima indicados, por vezes, tem sido possível estabelecer algumas recomendações para a otimização do potencial de arrefecimento das áreas verdes urbanas: Ng et al. (2012) defendem que a quantidade de árvores necessária para reduzir a temperatura do ar em 1°C corresponde a aproximadamente 33% da área urbana (neste caso, Hong Kong); Colunga et al. (2015) no seu estudo acerca da vegetação em Querétaro (México), concluíram que um aumento de 50% na cobertura arbustiva desta cidade produz uma redução de 0,6°C na temperatura do ar e poderá reduzir a intensidade da IUC em 2,1°C durante o período mais quente; Middel et al. (2015) concluíram que um aumento de 15% na cobertura arbustiva em Phoenix resultaria num arrefecimento diurno até 2°C em bairros residenciais, à escala local; já Wang et al. (2016) sugerem um incremento de 10% na vegetação em Toronto por forma a reduzir 0,8°C a temperatura do ar, durante o dia e a noite; por último, Soltani & Sharifi (2017) recomendam um aumento de 30% na cobertura arbustiva em Adelaide (Austrália) para uma redução de 2°C na temperatura do ar); a dispersão dos mesmos (segundo Doick et al. (2014) e Hamada & Ohta (2010), o maior potencial de arrefecimento poderá ser atingido com um maior número de espaços verdes, de menores dimensões e distanciados entre si. De igual modo, Franco & Macdonald (2016) defendem estratégias que promovem a criação de espaços verdes de reduzida dimensão como ruas arborizadas, pequenos parques, pátios interiores, entre outros, dispersos pela cidade, em detrimento de grandes espaços, concentrados geograficamente, por forma a disseminar homogeneamente o seu efeito de arrefecimento. Monteiro et al. (2016) recomendam intervalos de 100-150m entre os espaços verdes londrinos, sendo que estes devem ter como dimensão 3,5ha. Com maior detalhe, Leal et al., (2008), no seu trabalho acerca da influência de cinco espaços verdes em Coimbra nas condições climáticas e no conforto bioclimático, sugerem a criação de áreas verdes de média dimensão, com uma composição vegetal mista, integrando áreas relvadas e arborizadas, preferencialmente com espécies de folha caduca, uma vez que estas permitem a maior incidência direta da radiação solar no inverno e, pelo contrário, a sua intersecção no verão.

Em suma, a ideia de que a vegetação (e o seu incremento) nas áreas urbanas contribui para a redução das temperaturas, sendo uma medida eficaz na mitigação do fenómeno da IUC, é comum a todos os estudos, quer se dediquem ao estudo da temperatura do ar, da temperatura superficial ou de ambas (Dimoudi & Nikolopoulou, 2003; Doick & Hutchings, 2013; Haq, 2011; Lee et al., 2009; Li et al., 2013; Lin et al., 2015; Ren et al., 2013; Rotem-Mindali et al., 2015; Shiflett et al., 2017; Upmanis et al., 1998; Virtudes, 2016). Este efeito amplifica-se na presença de temperaturas elevadas/ situações de calor intenso (Ali, 2013; Qiu et al., 2017; Ren et al., 2013; Shashua-Bar & Hoffman, 2000; Monteiro et al., 2016; Yu et al., 2018; Zhang et al., 2013). Para além disto, de acordo com Cohen et al. (2012) o efeito de arrefecimento proporcionado pelos espaços verdes urbanos é muito mais significativo que as suas desvantagens no inverno.

3. A cidade de Lisboa: clima e vegetação

3.1. Enquadramento geográfico

Do ponto de vista geográfico, a cidade de Lisboa localiza-se na faixa ocidental de Portugal Continental, a cerca de 30 km a leste do Oceano Atlântico, na margem direita do estuário do Tejo (fig. 3). Segundo os dados do INE, em 2011, a área do concelho correspondia a 85km² e a população residente ultrapassava os 547 000 habitantes, com uma densidade populacional de 6 448,2 hab/km².

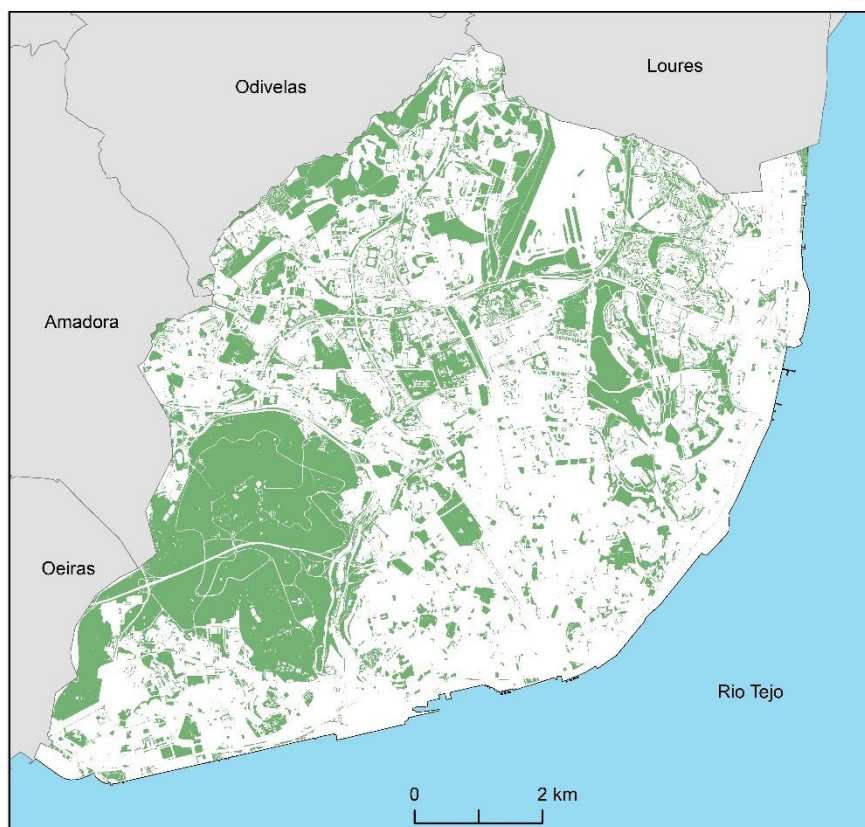


Figura 3 - Espaços verdes em Lisboa. Fontes: Geodados, CML (informação sobre os espaços verdes); CAOP 2011, DGT (limites administrativos).

A topografia da cidade apresenta algumas particularidades (Alcoforado, 1992; Alcoforado et al., 2009a; Lopes et al., 2013; Alcoforado e Andrade, 2006), nomeadamente um relevo relativamente acidentado (embora não se observem grandes variações altitudinais), marcado pela presença de quatro vales principais, estreitos e encaixados, que se estendem de norte a sul na parte meridional, enquanto a norte da cidade pode observar-se um planalto, isto é, um nível de erosão entre os 100m e os 160 m de altitude, com uma ligeira inclinação para sul; já o centro histórico de Lisboa localiza-se próximo do estuário. As altitudes máximas variam entre 160 m, na área urbanizada, e 226 m, na serra de Monsanto (metade oeste da cidade). Este relevo constitui um importante obstáculo à penetração de ar marítimo (Lopes, 2003).

Segundo Lopes (2003), as características do relevo e a posição privilegiada de Lisboa, no sul de uma península, determinam um conjunto complexo de climas.

Embora Lisboa se encontre atualmente consolidada, a cidade sofreu vários processos e fases de crescimento. Por este motivo, apresenta, atualmente, uma morfologia diversificada, heterogénea e multifacetada, com fortes contrastes em termos de tipologias arquitetónicas (Salgueiro, 2002). De acordo com Alcoforado *et al.*, (2009^a), entre a baixa e as Avenidas Novas sobressaem áreas com uma elevada densidade urbana (os edifícios ocupam cerca de metade da área de solo total), sendo escassos os espaços verdes. Em contraste, as áreas da cidade onde a densidade de edifícios é muito baixa correspondem aos locais onde os espaços verdes predominam, nomeadamente a periferia norte, em torno do Aeroporto (aqui, os espaços verdes consistem, essencialmente, em relvados).

Em relação à altura das construções, de acordo Alcoforado *et al.* (2015), os valores mais elevados localizam-se nas franjas norte e noroeste do centro histórico da cidade e próximo das fronteiras do concelho, mas aqui a densidade de edifícios ainda é relativamente baixa em alguns bairros, como, por exemplo, no Parque das Nações e em Carnide.

3.2. Enquadramento climático

Tendo em mente a classificação climática de Koppen, a capital portuguesa possui um clima do tipo Csa, ou seja, um clima temperado, com um inverno moderado em que a estação quente corresponde à estação seca, com a precipitação a concentrar-se num período de tempo (outubro a abril). De acordo com Alcoforado (1992) e Andrade (2003), este clima é modificado localmente pela topografia acidentada e pela proximidade do Estuário do Tejo e do Oceano Atlântico. Esta última condicionante, juntamente com a posição latitudinal concedem à cidade uma amenidade térmica. Às características físicas juntam-se as modificações da própria cidade.

Relativamente à temperatura, os valores médios anuais ficam-se pelos 16°C, com mínimos durante dezembro a fevereiro e máximos nos meses de julho a setembro. A título de exemplo, de acordo com as normais climatológicas de 1981-2010 (provisórias), para a estação “Lisboa Geofísico”, a média das temperaturas máximas atinge os 28,3°C em agosto (um dos meses mais quentes), enquanto, em janeiro (um dos meses mais frios) fica-se pelos 14,8°C. Em relação aos valores mínimos médios, em janeiro apenas atingem os 8,3°C, enquanto em agosto atingem os 18,6°C.

No que toca à precipitação, de acordo com as normais climatológicas de 1981-2010 (provisórias), a média anual corresponde a 774 mm, sendo que os valores máximos ocorrem de novembro (127,6 mm) a fevereiro e os mínimos nos meses de julho e agosto (4,2 mm e 6,2 mm, respetivamente).

Importa, também, descrever o regime de ventos, dadas a sua importância na qualidade do ar, no conforto e na saúde humana. Em Lisboa, este caracteriza-se por uma elevada frequência de ventos de norte e noroeste ao longo do ano, embora se registre uma grande variabilidade sazonal (Alcoforado *et al.*, 2009a; Lopes, 2003). De acordo com Alcoforado (2008) e Alcoforado e Andrade (2006), no inverno regista-se uma maior oscilação, sendo que os rumos dominantes

são de norte, nordeste e sudoeste (ou oeste). Nos meses de junho, julho e agosto, 70% das tardes de verão são influenciadas pela Nortada, registando velocidades médias horárias superiores a 15 km/h em 27% dos dias, e em 45% dos dias a Nortada regista-se durante todo o período diurno (Alcoforado et al., 2006). Esta ventilação natural de norte reveste-se de especial importância uma vez que promove a dispersão dos poluentes e reduz as cargas térmicas naturais e antropogénicas (Lopes et al., 2011). Contudo, tem sofrido notáveis reduções motivadas pelo crescimento da cidade para norte, devido ao aumento do atrito da superfície (Lopes, 2003). Por outro lado, em 30% dos dias de verão (quando a Nortada enfraquece ou desaparece), os ventos regionais fracos (velocidade inferior a 4 m/s), de sul e sudoeste, a que se atribui a designação de brisas do Oceano e do estuário do Tejo, são responsáveis pelo arrefecimento da frente ribeirinha, uma vez que transportam ar fresco e húmido do oceano e/ou do estuário (Alcoforado, 1992; Lopes, 2003; Lopes et al., 2013; Alcoforado et al., 2015). De acordo com Vasconcelos e Lopes (2006), as brisas em Lisboa instalam-se, normalmente, de manhã, quando a temperatura do estuário é menor que a da cidade e é durante a tarde que se tornam mais marcadas (a frente ribeirinha pode estar, em média, 3,5°C mais fresca do que o interior da cidade), quando as diferenças térmicas entre a cidade e o estuário são maiores (Alcoforado et al., 2005; Lopes, 2003). No final da tarde, estas brisas enfraquecem, podendo dar lugar aos ventos de norte. De igual modo, em dias de nortada mais intensa, a brisa enfraquece, ficando, por vezes, anulada pela circulação geral (Alcoforado et al., 2006). Contrariamente aos ventos de norte, estas brisas podem ser ineficazes na remoção da poluição atmosférica e até no seu incremento (Alcoforado, 2010a).

3.2.1. A IUC em Lisboa

Segundo Alcoforado (1992), o conceito tradicional de IUC é de difícil aplicação ao contexto da cidade de Lisboa, visto que o seu centro urbano é excêntrico, com limites pouco claros e apresenta o campo térmico condicionado por um conjunto de fatores não urbanos, nomeadamente a proximidade do estuário do Tejo e do Oceano. Ainda assim, este fenómeno térmico encontra-se bem estudado e documentado (Alcoforado et al., 2005), sendo medido a partir da diferença entre as temperaturas no centro da cidade (Restauradores e Saldanha) e nas áreas de Monsanto ou o Aeroporto (Alcoforado et al., 2015). Os primeiros estudos dedicados exclusivamente à IUC iniciaram-se nas décadas de 1980 e 1990 (Lopes, 2008; Alcoforado et al., 2006) e continuaram até aos dias de hoje. No entanto, só em 2004 foi possível a instalação de uma rede meteorológica, pelo grupo de investigação *Zephyrus (Climate Change and Environmental Systems)* da Universidade de Lisboa, com o intuito de analisar a influência desta cidade no fenómeno de IUC. (Alcoforado et al., 2014; Lopes et al., 2013), dando continuidade aos estudos iniciados nos anos anteriores (observações e modelação). Os primeiros resultados provenientes da informação recolhida por esta rede foram publicados em 2007 (Alcoforado et al., 2007), fornecendo informação útil ao planeamento urbano (Alcoforado et al., 2014), que tem sido atualizada recentemente, pelos mesmos autores.

IUC da atmosfera

Com base na bibliografia analisada, verifica-se que a IUC atmosférica em Lisboa, medida a 2 m do solo, tem recebido maior destaque por parte dos investigadores, comparativamente à IUC superficial, cujos estudos são mais escassos. Dos dois tipos de IUC do ar, a IUC da UCL é, sem dúvida, a mais estudada, tanto em Lisboa, como noutras cidades (Alcoforado et al., 2005).

Embora se possam apontar algumas vantagens no período de inverno, a IUC nesta cidade é considerada uma grande desvantagem no verão (Soares, 2006; Viveiros, 2017), sendo que os seus inconvenientes se suplantam, muito provavelmente, às suas potencialidades.

De acordo com Alcoforado et al. (2015), este fenómeno é mais frequente e intenso de noite do que de dia (ocorrendo em 95% das noites e em 85% dos dias do ano, tanto de inverno como de verão (fig. 4), sobretudo e, ao contrário da ideia defendida por Oke (1987), em situações de vento fraco a moderado (ventos dos quadrantes oeste e noroeste), não estando, portanto, normalmente associado a cenários de calma atmosférica (Alcoforado, 1992; Alcoforado et al., 2005, 2014, 2015; Andrade, 2003; Lopes, 2008; Lopes et al., 2013; Alcoforado e Andrade, 2006). Pelo contrário, em situações de forte instabilidade, com nebulosidade elevada e ventos de vários quadrantes, a influência urbana na temperatura do ar não é tão evidente (Alcoforado et al., 2005).

De acordo com Alcoforado et al. (2005) e Lopes (2008), nos dias de inverno verifica-se uma alternância entre a formação de IUC, quando se registam ventos de norte e o céu encontra-se limpo, e ilhas de frescura, em ocasiões de nevoeiro no Tejo.

Ainda assim, mais recentemente, têm surgido evidências de que a IUC em Lisboa é mais intensa no verão, permanecendo elevada toda a noite durante a primavera e o verão, enquanto no outono e inverno atinge a sua intensidade máxima depois do pôr-do-sol (Alcoforado, 2010a; Alcoforado et al., 2014; Lopes et al., 2013).

Lopes et al. (2013), com base nos dados registados pela rede urbana (*Zephyrus*), observaram a ocorrência deste fenómeno ao longo do ano. Contudo, verificaram que as maiores intensidades da IUC ocorreram, sobretudo, no verão, com ventos dos quadrantes norte, noroeste e sudoeste (superiores a 4°C), enquanto no inverno a sua intensidade média foi ligeiramente inferior (1,7°C).

Relativamente à intensidade da IUC, de acordo com Alcoforado (1992,), Alcoforado et al., (2007, 2009) e Lopes et al. (2013), os valores médios não ultrapassam os 2°C a 3°C (fig. 4). No entanto, a intensidade média da IUC noturna pode variar entre os 0,5°C e os 4°C, embora se possam verificar intensidades muito superiores (Alcoforado, 1992; Andrade, 2003; Alcoforado e Andrade, 2006). Tal sucede-se, por exemplo, em noites de verão sob a influência de massas de ar muito quentes e secas oriundas do continente africano.

Quanto à distribuição espacial deste padrão térmico, vários autores defendem que a IUC em Lisboa apresenta uma forma tentacular (fig. 4), prolongando-se ao longo dos principais eixos de crescimento da cidade (Alcoforado, 1992, 2010a). No entanto, as áreas mais aquecidas sofrem alterações na sua localização consoante a direção e intensidade do vento (Alcoforado et al., 2014).

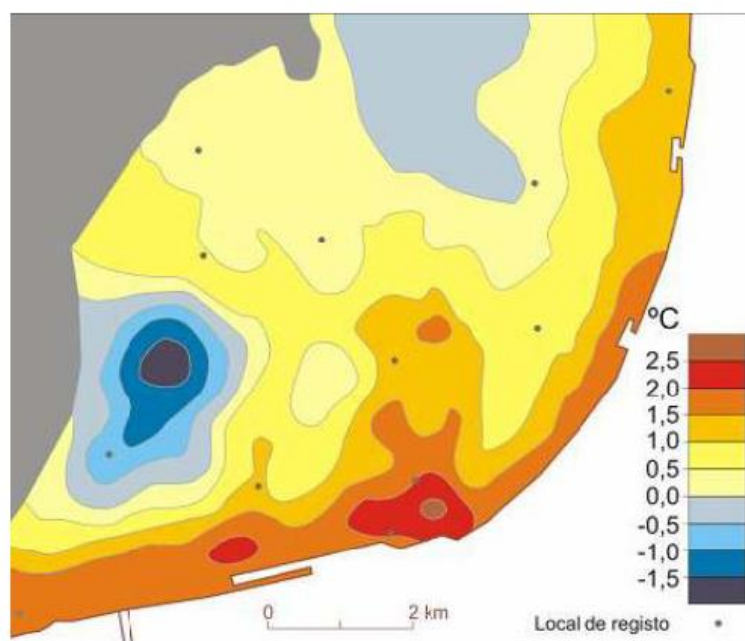


Figura 4 - IUC noturna de Lisboa: temperaturas normalizadas da atmosfera referentes a noites com vento Norte moderado. Fonte: Andrade, 2003

Geralmente, a temperatura do ar aumenta em direção ao centro da cidade, em 78% das noites de inverno e em 63% no verão (Alcoforado, 2010b), logo o núcleo situa-se, na maioria dos casos, na Baixa e nos bairros ribeirinhos (Alcoforado et al., 2014; Lopes, 2008). Estas situações podem decorrer em dias de Nortada, gerando-se um efeito de abrigo originado pelo tecido urbano a norte (Alcoforado et al., 2005, 2009b; Lopes et al., 2013). Em contraste, as áreas mais frescas estão em Monsanto ou na periferia norte (Alcoforado et al., 2005; Andrade, 2003). No entanto, em alguns casos, este centro move-se para norte (Avenidas Novas) e a baixa da cidade fica relativamente fresca. Tal decorre quando se registam ventos regionais fracos e brisas estuarinas (Alcoforado et al., 2009a; Andrade, 2003; Lopes, 2003), sendo estas mais frequentes no verão. Neste caso, uma “ilha de frescura” substitui a IUC, podendo a baixa estar 3°C a 4°C mais fresca que o aeroporto (Alcoforado, 1992). Nos dias de inverno, pode observar-se este padrão térmico quando sopram ventos do norte e o céu está limpo, ou a presença de ‘ilhas de frescura’, em situações de nevoeiro no Tejo (Alcoforado et al., 2005; Lopes, 2008).

IUC superficial

Os primeiros estudos sobre este tipo de IUC foram desenvolvidos por Alcoforado (1986), recorrendo a uma imagem térmica do inverno de 1984.

Embora a IUC das superfícies nesta cidade tenha sido muito menos estudada, comparativamente à IUC da UCL, existem algumas conclusões sólidas a seu respeito que merecem consideração. De acordo com Lopes (2003), os padrões térmicos das superfícies

assemelham-se aos das temperaturas do ar em Lisboa, isto é, observa-se uma forte correspondência entre os padrões e ritmos da IUC do ar e da IUC superficial.

Em relação à situação diurna, registam-se dois comportamentos térmicos distintos nas temperaturas de superfície: no período mais frio do ano, tanto o centro da cidade como a sua periferia evidenciam temperaturas de superfície semelhantes com, no entanto, uma ligeira tendência para o norte estar mais fresco do que o centro (Lopes, 2003). Pelo contrário, no verão, as superfícies do centro da cidade encontram-se, em média, 2 a 4°C mais frias do que na periferia, resultando numa ilha de frescura, tal como acontece com a temperatura do ar (Alcoforado, 1992; Lopes, 2003). Relativamente ao comportamento noturno, as superfícies do centro da cidade encontram-se normalmente mais quentes do que as do norte, sendo que as maiores diferenças registam-se no inverno (Lopes, 2003, 2008).

No que toca às amplitudes mensais, as diferenças são notoriamente superiores nas temperaturas durante o dia, do que durante a noite. A título de exemplo, a amplitude mensal da temperatura de superfície noturna raramente atinge os 15°C, enquanto na primavera e no verão, as amplitudes mensais das temperaturas diurnas podem superar em 10°C as maiores amplitudes noturnas (Lopes, 2003).

A distribuição sazonal das anomalias da temperatura de superfície revela que, no período mais frio do ano, são mais frequentes os casos em que a Baixa da cidade se encontra mais aquecida, tanto durante o dia, como durante a noite. Pelo contrário, no verão, durante o período diurno a periferia encontra-se frequentemente mais quente do que o centro da cidade, observando-se, portanto, uma diminuição do número de noites em que a mesma se encontra mais aquecida (Lopes, 2008).

3.2.2. Estratégias de mitigação da IUC

De acordo com Alcoforado et al. (2005) e Lopes (2008), a mitigação IUC não é um objetivo climático universal, aplicável em todas as cidades do globo. Tal deve-se ao facto deste padrão térmico afetar cada área urbana de forma distinta, podendo tornar-se, tal como foi referido anteriormente, um constrangimento para as cidades com clima muito quente e uma vantagem para as cidades com climas frios ou invernos muito rigorosos.

No caso de Lisboa considerou-se a mitigação da IUC como um objetivo desejável, tendo em conta o balanço entre os seus benefícios no inverno (diminuição do consumo energético para aquecimento) e os constrangimentos estivais, nomeadamente o aumento do desconforto térmico, que se reflete no aumento do consumo energético para o arrefecimento dos edifícios e, em situações de vaga de calor, no incremento da mortalidade (Alcoforado et al., 2005).

Para além das suas características climáticas, as projeções futuras para a cidade justificam, de igual modo, o desenvolvimento de estratégias de mitigação da IUC. Segundo Calheiros et al. (2016), prevê-se, em Lisboa, um aumento das temperaturas mínimas, médias e máximas, de forma acentuada, ao longo deste século. Ao mesmo tempo, espera-se um incremento substancial na frequência e duração dos episódios de calor extremo (ondas de calor) e no número de dias muito quentes e noites tropicais.

Têm sido desenvolvidos estudos que abordam as questões relacionadas com a aplicabilidade do conhecimento do clima urbano ao ordenamento da cidade (Lopes, 2008), procurando sugerir algumas medidas que permitam reduzir os efeitos climáticos negativos, à escala local, do processo de urbanização. Um dos exemplos é o estudo sobre as “Orientações Climáticas para o Ordenamento em Lisboa”, elaborado no âmbito da revisão do PDM, por Alcoforado et al. (2005). Com este projeto pretendeu-se a apresentação de propostas que contribuam para a mitigação da IUC e a melhoria das condições de ventilação da cidade, tendo-se gerado dois produtos principais: por um lado, a cartografia dos climatopos, isto é, áreas da cidade com características físicas homogéneas (considerando o relevo e a morfologia urbana) e que potencialmente apresentarão uma resposta climática semelhante, sendo esta um passo intermédio indispensável para a organização do espaço urbano, em termos de “resposta climática potencial”. Com base neste mapa, foi elaborada a cartografia com as orientações climáticas para o planeamento/ordenamento (Alcoforado et al., 2005).

A partir desta cartografia foram definidas um conjunto de orientações gerais que contribuem para o ordenamento da cidade, nomeadamente a melhoria das condições de ventilação, a manutenção de um SVF elevado, a criação de espaços verdes e a seleção de materiais de construção adequados (tendo em conta as suas características físicas, como o albedo, condutibilidade térmica e capacidade calorífica), contribuindo estas três últimas medidas para a mitigação da IUC em Lisboa.

Relativamente aos espaços verdes, que desempenham importantes funções climáticas, biológicas, hidrológicas, sociais e culturais nas cidades, considerou-se que nos locais dedicados essencialmente ao lazer das populações a proposta de criação de uma estrutura verde complexa e variada, por forma a gerar condições microclimáticas propícias a diferentes atividades e tipos de população e em diferentes tipos de tempo. No que diz respeito ao tipo de vegetação, deve ter-se em atenção as suas mais-valias e desvantagens em ambiente urbano. Por exemplo, em áreas em que o abrigo do vento seja necessário (locais de permanência, como as esplanadas), a instalação de vegetação de folha persistente pode ser desejável, tal como nos espaços verdes de proteção, cuja principal função é a deposição de alguns poluentes atmosféricos. Por outro lado, devem ser aproveitadas as potencialidades da vegetação caducifólia, de forma a proporcionar sombra no período estival (quando esta é mais necessária) e permitir, embora com limitações, a passagem da radiação solar no inverno (Alcoforado et al., 2005), tal como se observa na figura 5.

Mais recentemente, têm-se observado mudanças na cidade de Lisboa, pelo que se torna necessário atualizar esta cartografia e continuar os estudos sobre a mesma temática, o que se propõe neste trabalho.

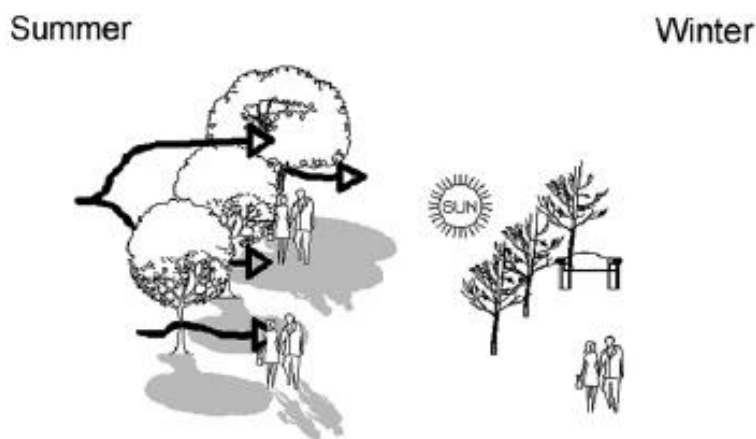


Figura 5 - Vantagens da vegetação de folha caduca no inverno e no verão. Fonte: Georgi & Dimitriou, 2010

Nota: O efeito-sombra pode ser conseguido a partir de espécies arbóreas, que proporcionam um efeito de arrefecimento do ar sem impedir a penetração da radiação solar no inverno.

3.3. A vegetação e os espaços verdes lisboetas

Os espaços verdes constituem parte integrante da conceção de uma área urbana e, como tal, deverão ser considerados no planeamento e gestão urbanística (DGOT, 1992, citado por Santos, 2009).

Embora, atualmente, o espaço disponível para a criação de novas áreas vegetadas seja muito escasso em Lisboa, esta condição nem sempre se verificou. A abundância e distribuição espacial dos espaços verdes tem sofrido notáveis alterações até aos dias de hoje e está longe de ser homogénea em todo o concelho.

Para uma descrição detalhada da evolução destas áreas na cidade poderá consultar-se Figueiredo (2014), Soares (2006) e Viveiros (2017).

De acordo com Franco & Macdonald (2016), Lisboa possui mais de 120 parques locais e jardins com dimensões variadas, a qual se juntam 13 florestas urbanas, de maiores dimensões e com vegetação mais densa comparativamente aos anteriores, destacando-se o Parque Florestal de Monsanto, que cobre cerca de 10% da área da cidade.

Quantificando a área ocupada por estes espaços no concelho, foi elaborada pela CML uma cartografia que representa a sua distribuição espacial, que se comprova relativamente heterogénea.

Já os espaços verdes públicos no concelho de Lisboa, em 2006 estes ocupavam 1303,6 ha, enquanto as copas das árvores e manchas arbustivas densas correspondiam a 1558 ha (Câmara Municipal de Lisboa, 2012).

Aplicando uma metodologia para a identificação das áreas verdes em Lisboa baseada no cálculo do NDVI e em classificações do uso do solo supervisionadas e não supervisionadas, Santos (2009), refinou a cartografia elaborada pela CML, conseguindo um produto com uma precisão relativamente superior. Concluiu que as áreas verdes não apresentam uma distribuição homogênea na cidade, evidenciando-se um aumento do centro para a periferia. Esta clara heterogeneidade na distribuição da vegetação também foi confirmada por Franco & Macdonald (2016), ressaltando que as áreas fortemente desenvolvidas, como o centro e a Baixa, apresentam valores médios de NDVI relativamente baixos, comparativamente às restantes áreas da cidade, com valores médios de vegetação superiores.

Ao mesmo tempo, embora o valor médio da percentagem de área verde por freguesia corresponda a 32%, este indicador esconde muitas realidades, visto que existem freguesias com uma percentagem de área verde superior a 75% e freguesias com uma área verde que não atinge os 5% da sua área total (Santos, 2009), tal como se observa na figura 6.

De acordo com a mesma autora, a quantidade média de área verde por habitante apresenta o mesmo comportamento na cidade, isto é, um aumento do centro para a periferia, sendo que a quase totalidade dos espaços verdes na área central e na frente ribeirinha resumem-se a ruas arborizadas e espaços privados que, apesar de terem efeitos climáticos positivos, têm benefícios térmicos menos significativos que os dos espaços verdes de maiores dimensões, como parques e jardins.

Com o intuito de quantificar o uso e ocupação do solo em Lisboa, Mendes et al., 2015 (fig.6), estimaram que a cidade possui 16,8% de cobertura arbórea, sendo que a freguesia de Benfica (devido à presença do Parque Florestal de Monsanto) é a mais arborizada, seguida de Alcântara e Ajuda, enquanto as menores coberturas observaram-se em Santa Maria Maior (centro histórico da cidade), Parque das Nações e Santa Clara. Tendo em conta a área do concelho e a população residente, referidas anteriormente, esta cobertura arbórea total equivalente a 25,7 hab/km².

Focando apenas as espécies arbóreas, segundo Franco & Macdonald (2016), o clima mediterrâneo favoreceu a sobrevivência de diferentes espécies na cidade. Estima-se que existam mais de 600 000 árvores em Lisboa pertencentes a 200 espécies distintas, tanto autóctones como exóticas (Câmara Municipal de Lisboa, 2010), sendo que as exóticas se sobrepõem largamente às outras (Câmara Municipal de Lisboa, 2012). Muitas espécies foram introduzidas na cidade, favorecidas pelas condições de amenidade térmica, adaptando-se nitidamente às condições climáticas locais, nomeadamente a irregularidade da precipitação (Câmara Municipal de Lisboa, 2012). Por serem, na sua maioria, árvores recentes (plantadas entre 1960 e 1965), os benefícios que providenciam são substanciais (Soares et al., 2011).

Segundo Soares et al. (2011), em 2011 existiam cerca de 41000 árvores em espaços públicos (ruas e avenidas), sendo que este quantitativo tem sofrido importantes aumentos. Para além disto, dos 1500 km de vias existentes na cidade, 500km estão arborizados, correspondendo a 33% do total.

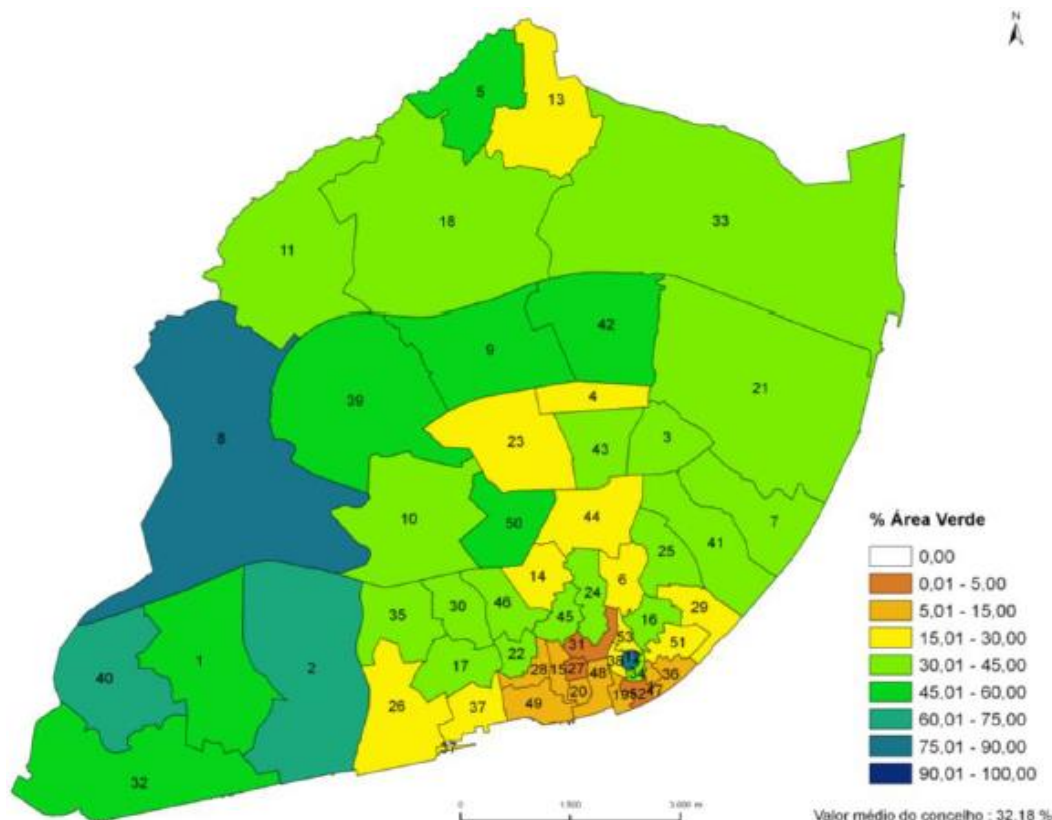


Figura 6 - Freguesias de Lisboa - percentagem de área verde. Fonte: Santos, 2009

Nota: as freguesias do concelho de Lisboa representadas nesta cartografia são anteriores à reorganização administrativa

Soares (2006) elaborou um registo das principais árvores de arruamento da cidade e concluiu que a grande maioria das espécies são de folha caduca e de grande porte (tílias, plátanos, etc), sendo que uma reduzida porção corresponde a espécies de folha persistente.

Quanto ao estado de conservação, segundo o Relatório da Caracterização Biofísica de Lisboa, elaborado a propósito da revisão do PDM (2010), a vegetação existente no concelho encontra-se muito degradada e recentemente não têm sido detetadas espécies da flora com interesse para proteção.

2.4. A influência térmica dos espaços verdes em Lisboa

A influência da vegetação e dos espaços verdes no ambiente térmico da capital portuguesa já tem sido avaliada em alguns estudos (Alcoforado, 1996; Andrade & Vieira, 2005, 2007; Oliveira et al., 2008, 2011; Soares, 2006; Viveiros, 2017), tanto em jardins de média dimensão, como em jardins de pequena dimensão e, ainda, em ruas arborizadas. No entanto, os mesmos focaram-se nos efeitos na temperatura do ar, negligenciando a temperatura de superfície. Apenas Andrade & Vieira (2005, 2007) procederam à análise de uma imagem de satélite (*Landsat*) de verão, não sendo esse o seu foco principal no trabalho desenvolvido.

Dos estudos apontados anteriormente, apenas três se centraram em jardins de média dimensão (fig. 7): o trabalho de Alcoforado (1996) onde foram analisados três jardins com áreas compreendidas entre os 3,8 e os 15,2ha (Jardim da Estrela, Jardim Madre Deus e Jardim do Campo Grande); o estudo de Soares (2006), desenvolvido no âmbito da sua tese de doutoramento, onde foram analisados três jardins, dois deles de média dimensão (Jardim Botânico da Ajuda, com 3,5ha, e Jardim Vasco da Gama, com 4,2ha) e algumas ruas e avenidas arborizadas, e, por último, o trabalho de (Andrade & Vieira, 2005, 2007), baseado unicamente no Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian (8,5ha), que será também alvo de análise na presente dissertação.

Quanto aos espaços verdes de pequena dimensão (fig. 7), Soares (2006) estudou, para além dos dois jardins de média dimensão referidos acima, um jardim de reduzida dimensão, o jardim da Praça de São João de Bosco, com cerca de 0,7ha. Oliveira et al. (2008, 2011) analisaram dois jardins, também ambos de pequena dimensão: o jardim Braancamp Freire, com cerca de 1,3ha, e o jardim Teófilo Braga, com aproximadamente 0,4ha, sendo que este último serviu de base a uma dissertação de mestrado, elaborada muito recentemente (Viveiros, 2017).

Por último, os estudos em ruas vegetadas são muito mais escassos, tendo apenas Soares (2006) realizado medições de parâmetros climáticos em algumas ruas e avenidas (Ferreira Borges, Sampaio e Pina, Elias Garcia, Pedro Calmon e Sacadura Cabral).

No geral, estes estudos pretenderam avaliar a influência dos espaços verdes no ambiente térmico da cidade, por forma a atenuar os efeitos do aquecimento global e da IUC, contribuindo com algumas diretrizes para a tomada de decisões relativas às áreas verdes de Lisboa. Para tal, a quase totalidade desses estudos apostou em medições de parâmetros climáticos, a exceção de Viveiros (2017) que se baseou unicamente em modelação numérica. Quanto às medições, a maioria decorreu durante o período mais quente do ano (Alcoforado, 1996; Soares, 2006; Oliveira et al., 2008, 2011), enquanto alguns autores efetuaram medições ao longo do ano (Andrade & Vieira, 2005, 2007).

Embora os resultados obtidos em termos de arrefecimento sejam relativamente distintos, todos os estudos concluíram que os espaços verdes analisados contribuem para a redução das temperaturas atmosféricas e, portanto, contribuem para a mitigação da IUC. Os contrastes térmicos registados entre os jardins e a sua envolvente quase atingiram os 10°C (Andrade & Vieira, 2005, 2007), neste caso num espaço verde de média dimensão, sendo esta a segunda maior intensidade máxima da PCI observada de acordo com a bibliografia analisada. Contudo, os contrastes obtidos em jardins de pequena dimensão e em ruas arborizadas são igualmente consideráveis: a título de exemplo, Soares, 2006, registou uma diferença máxima de 9°C numa das avenidas analisadas, enquanto Oliveira et al. (2008) registaram uma diferença máxima de 8°C no Jardim Teófilo Braga.

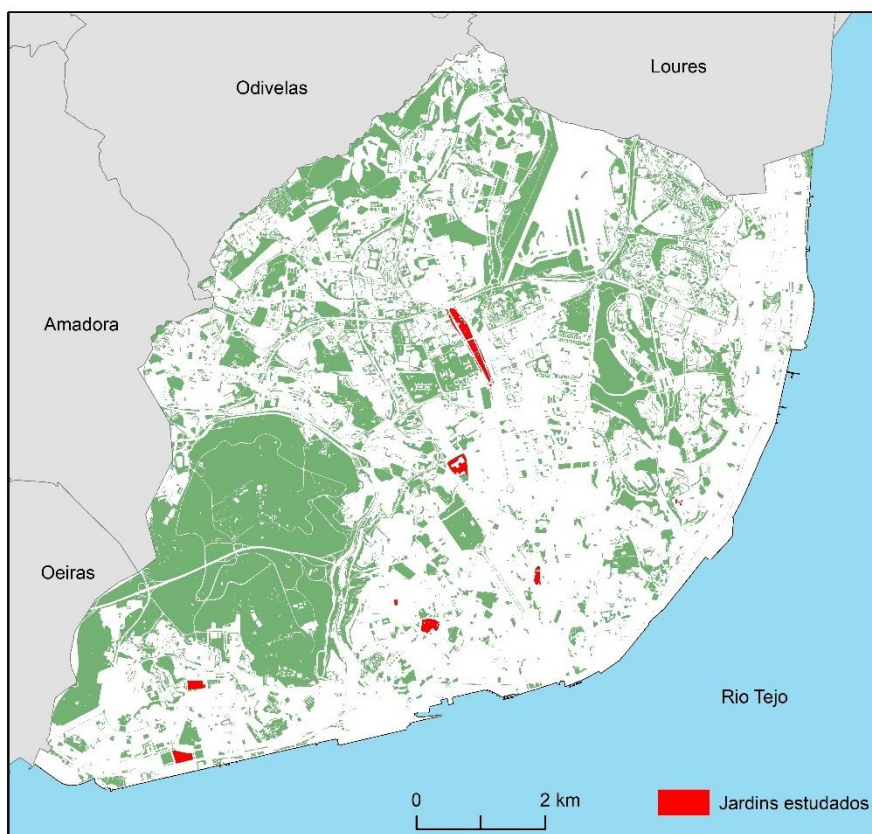


Figura 7 - Espaços verdes analisados em Lisboa. Fontes: Geodados, CML (informação sobre os espaços verdes); CAOP 2011, DGT (limites administrativos).

Pelo contrário, Andrade (2003), que procurou analisar a influência da vegetação nos climas locais de Lisboa, através da realização de medições de temperatura do ar e humidade relativa em alguns vales e outras áreas da cidade (vale da Avenida da Liberdade, vale da Avenida Almirante Reis, vale de Alcântara e o bairro de Alvalade) concluiu que os espaços verdes de reduzidas dimensões não registaram qualquer influência significativa sobre o campo térmico local.

Quanto à altura do ano e do dia em que se observaram as maiores intensidades da PCI, tal como os estudos em cidades estrangeiras, verificou-se que os contrastes são mais marcados durante o verão e de dia (Andrade & Vieira, 2005, 2007; Oliveira et al., 2011). Pelo contrário, durante o período noturno observou-se igualmente a presença de uma PCI, embora as diferenças de temperatura fossem menos evidentes (Andrade & Vieira, 2005, 2007). Para além disto, em dias mais quentes constatou-se que o efeito de arrefecimento é mais acentuado (Andrade & Vieira, 2005, 2007; Oliveira et al., 2008, 2011), o que reforça a importância dos espaços verdes na atenuação das condições de calor extremo.

Relativamente à humidade relativa, tal como na bibliografia analisada, também se observou que os espaços verdes registaram níveis de humidade superiores aos das áreas envolventes (Oliveira et al., 2011).

No que toca aos fatores que explicam o comportamento destas áreas, destacaram-se, por um lado, as condições exógenas, nomeadamente as condições de tempo (Andrade & Vieira, 2005,

2007; Oliveira et al., 2011), a exposição solar e a geometria urbana (Oliveira et al., 2011) e, por outro, as suas características, como o tipo de composição do espaço, em particular a proporção de planos de água, de superfícies relvadas, entre outras (Alcoforado, 1996), tendo estas componentes sido consideradas mais relevantes do que a forma ou tamanho do espaço verde; e as características da vegetação, em particular a sua estrutura e o tipo de espécie (Andrade & Vieira, 2005, 2007; Soares, 2006; Viveiros, 2017).

Posto isto, torna-se relevante investigar mais pormenorizadamente os fatores que explicam os contrastes na temperatura do ar, por forma a que seja possível a determinação do potencial de arrefecimento de todos os espaços verdes em Lisboa.

4. Metodologia de trabalho

4.1. Esquema metodológico

Na figura 8 apresenta-se um esquema que sintetiza as principais etapas do trabalho realizado.

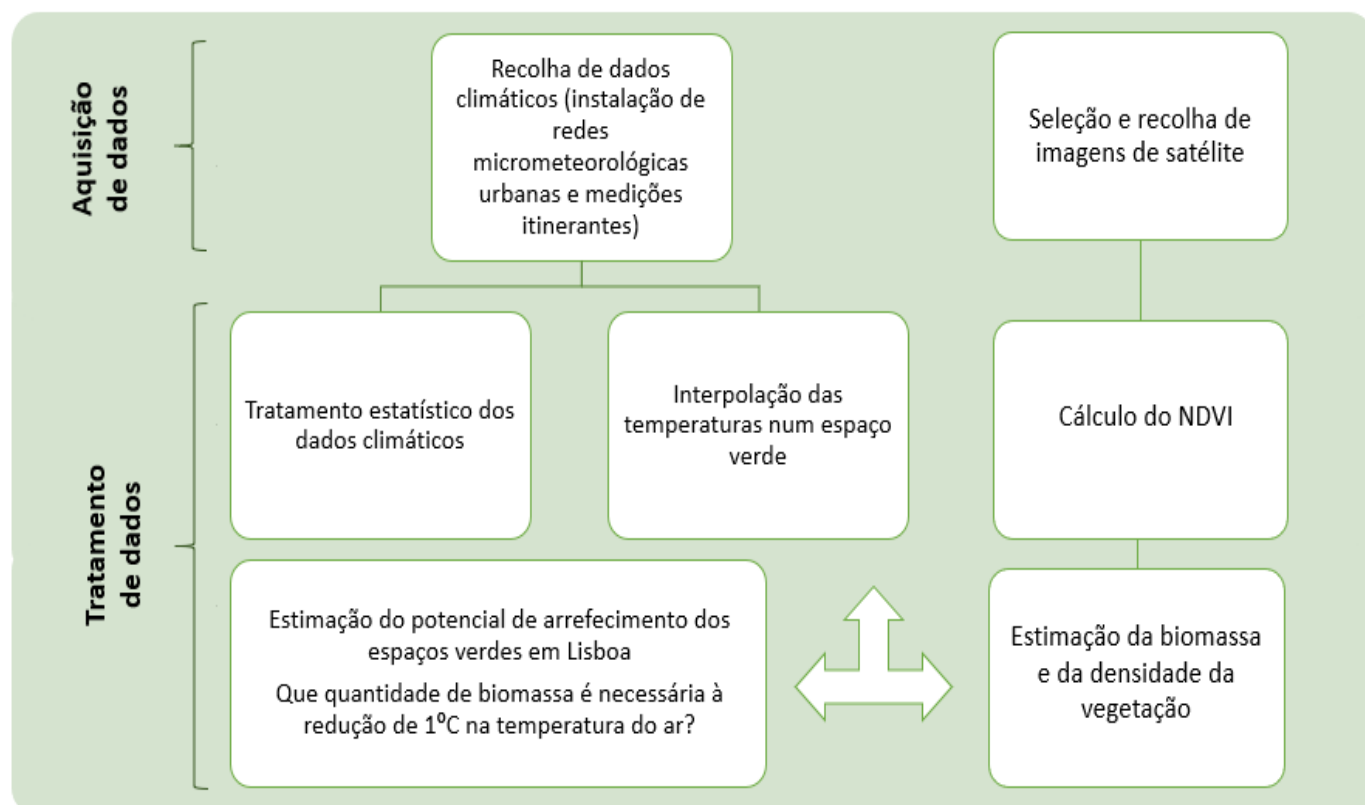


Figura 8- Esquematização das etapas do trabalho

4.2. Áreas-amostra: Jardim da Gulbenkian, Jardim Fernando Pessa, Avenida Defensores de Chaves e Rua Actor Isidoro

4.2.1. Razões de escolha

Escolheram-se quatro áreas-amostra no presente estudo: Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian, Jardim Fernando Pessa e duas ruas, uma com vegetação, a Avenida Defensores de Chaves, e outra sem vegetação, a Rua Actor Isidoro. Os critérios para a sua escolha basearam-se nos seguintes parâmetros:

- ✓ Localização geográfica: tanto os dois jardins, como as ruas, localizam-se, sensivelmente, na mesma área da cidade, ou seja, no centro, pelo que o seu enquadramento climático e a morfologia urbana da sua área envolvente são relativamente semelhantes, o que permite a comparação de resultados entre si. Pelo facto de a IUC ser mais intensa, na maioria dos casos, nesta área da cidade, torna-se particularmente interessante quantificar aqui os efeitos destes espaços na mitigação deste padrão térmico;
- ✓ Dimensão: o jardim da Fundação Calouste Gulbenkian é representativo de um espaço verde de média dimensão (8,5 ha), tendo em conta os existentes em Lisboa, enquanto o jardim Fernando Pessa, com cerca de 1,4 ha, é representativo dos jardins de reduzida dimensão. A escolha da rua com e da rua sem vegetação não obedeceu a este critério.
- ✓ Topografia: todos estes espaços são áreas relativamente planas, tornando os resultados independentes da topografia, fator que, segundo Andrade & Vieira (2005), influencia o comportamento climático dos mesmos, tornando mais difícil a generalização dos resultados;
- ✓ Segurança: este foi outro fator a considerar em ambos os jardins, uma vez que seriam instalados instrumentos de medição de parâmetros climáticos durante um período significativo (alguns meses). Estes dois espaços são relativamente fechados e beneficiam de vigilância frequente, pelo que as possibilidades de dano ou furto são mais reduzidas. Por outro lado, não se considerou tão relevante este critério na escolha das ruas com e sem vegetação, uma vez que as medições a efetuar seriam itinerantes e não implicariam a permanência fixa dos instrumentos por períodos consideráveis;
- ✓ Relativamente ao Jardim da Gulbenkian, pretendeu-se aprofundar os estudos sobre a mesma temática realizados por Andrade & Vieira, 2005, 2007;
- ✓ No que toca às ruas com e sem vegetação (Avenida Defensores de Chaves e Rua Actor Isidoro, respetivamente), procurou-se que ambas possuíssem a mesma orientação e características topográficas. Mais especificamente, relativamente à rua com vegetação, selecionou-se uma composta, sobretudo, por espécies arbóreas de médio a grande porte (fornecendo sombra significativa), localizadas no centro da avenida. Já na rua sem vegetação, procurou-se que a superfície impermeabilizada (edifícios, pavimentos, etc) cobrisse a totalidade ou quase totalidade do solo e a vegetação presente fosse escassa ou nula.

4.2.2. Localização geográfica e características gerais

Ambos os jardins e as ruas seleccionadas localizam-se na área central da cidade, tal como se pode verificar na figura 9.

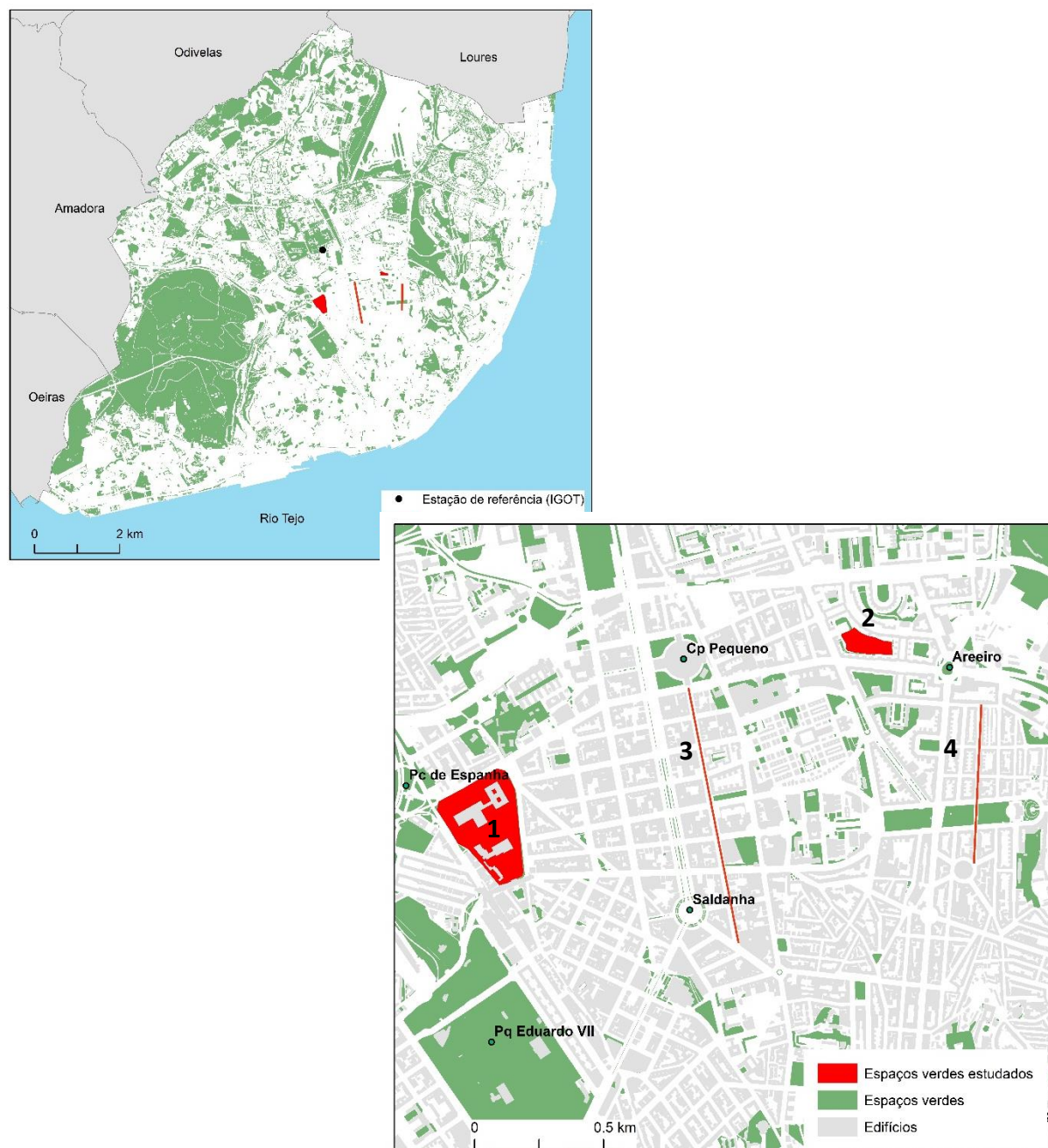


Figura 9 - Localização das áreas verdes estudadas. Fontes: Geodados, CML (informação sobre os espaços verdes e o edificado); CAOP 2011, DGT (limites administrativos)

Legenda: 1 - Jardim da Gulbenkian; 2 - Jardim Fernando Pessa; 3 - Avenida Defensores de Chaves; 4 - Rua Actor Isidoro

De acordo com Alcoforado *et al.* (2005), quanto à morfologia urbana, a área envolvente a estes espaços caracteriza-se por uma ocupação urbana de média e elevada densidade, isto é, áreas já consolidadas, onde a possibilidade de alterar a estrutura urbana é muito reduzida. Quanto às classes de ventilação, estas áreas integram-se no Planalto Sul de Lisboa, onde a rugosidade aerodinâmica é alta, com menor capacidade de ventilação natural dos espaços. Por estes motivos e pelo facto da IUC ser mais intensa nestas áreas, uma das orientações climáticas corresponde à criação e preservação dos espaços com vegetação densa, como, por exemplo o Jardim da Gulbenkian. As outras indicações passam, sobretudo, pela seleção de materiais de construção adequados e pela preservação da ventilação natural.

Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian

É no final da década de 1950 (1957) que se iniciou o projeto deste espaço verde, com a obtenção de grande parte dos terrenos para a sua construção, por parte da Fundação Calouste Gulbenkian (Quintal, 2014; Soares, 2006). Os edifícios constituintes foram inaugurados apenas durante a década de 1960. O jardim, projetado pelos arquitetos paisagistas Gonçalo Ribeiro Telles e António Viana Barreto, possui uma base naturalista e encontra-se isolado do exterior por espécies arbóreas e arbustivas, que têm, também, como função a diminuição dos ruídos, e pela criação de um relevo, que protege o jardim das inundações que afetam, por vezes, esta área (Quintal, 2014).

Em 1984, este espaço sofreu um processo de recuperação e em 2002 uma intervenção, que consistiu na sua “atualização”, autoria do arquiteto Gonçalo Ribeiro Telles. De acordo com o seu autor (1997), a sua conceção naturalista e a intensidade de utilização pelo público demonstram largamente a necessidade de grande qualidade técnica e funcional (associadas a equipamentos e atividades culturais), constituindo-se como um espaço verde urbano diferenciado e inovador.

Muito recentemente (2013), foi inaugurado o Centro Gonçalo Ribeiro Telles, em homenagem ao arquiteto paisagista. Este edifício localiza-se no recanto do parque e permite ao público perceber como o mesmo foi pensado.

Este jardim (fig. 10), pertencente à freguesia de Avenidas Novas, ocupa uma área de 8,5 ha, sendo, portanto, considerado um espaço verde de média dimensão, de acordo com a classificação elaborada por Andrade & Vieira (2005). É composto por vários edifícios, sendo que a sua área corresponde a aproximadamente 2,5 ha, enquanto os locais com vegetação envolventes aos mesmos ocupam o restante espaço, considerando que, em grande parte da sua área, o jardim é suspenso (Quintal, 2014).

Uma vez que nesta dissertação pretende-se analisar as diferenças no potencial de arrefecimento entre diferentes conjuntos da vegetação, torna-se relevante proceder a uma breve caracterização da flora presente neste jardim.

Segundo Quintal (2014), foram encontradas plantas pertencentes a 213 espécies distintas. Neste espaço podem observar-se 94 arbustos. Para além destes, foram identificadas 84 árvores, sendo que 20 são árvores de pequeno porte ou grandes arbustos (exemplos: medronheiro, cameleira, romãzeira). Destas árvores, os eucaliptos correspondem às plantas com maior porte

(Quintal, 2014). Ainda dentro desta categoria, também se podem destacar os choupos, as tílias, os ulmeiros e as árvores-da-borracha-australianas, pela sua enorme copa. Quanto às plantas herbáceas, foram distinguidas 80, sobressaindo as gramíneas, as ciperáceas e os juncos. Por último, identificou-se 15 trepadeiras.

Em suma, em termos quantitativos, neste jardim, os arbustos perfazem um total de 34,4%, árvores 30,8%, herbáceas 29,3% e as trepadeiras representam apenas 5,5% (Quintal, 2014).

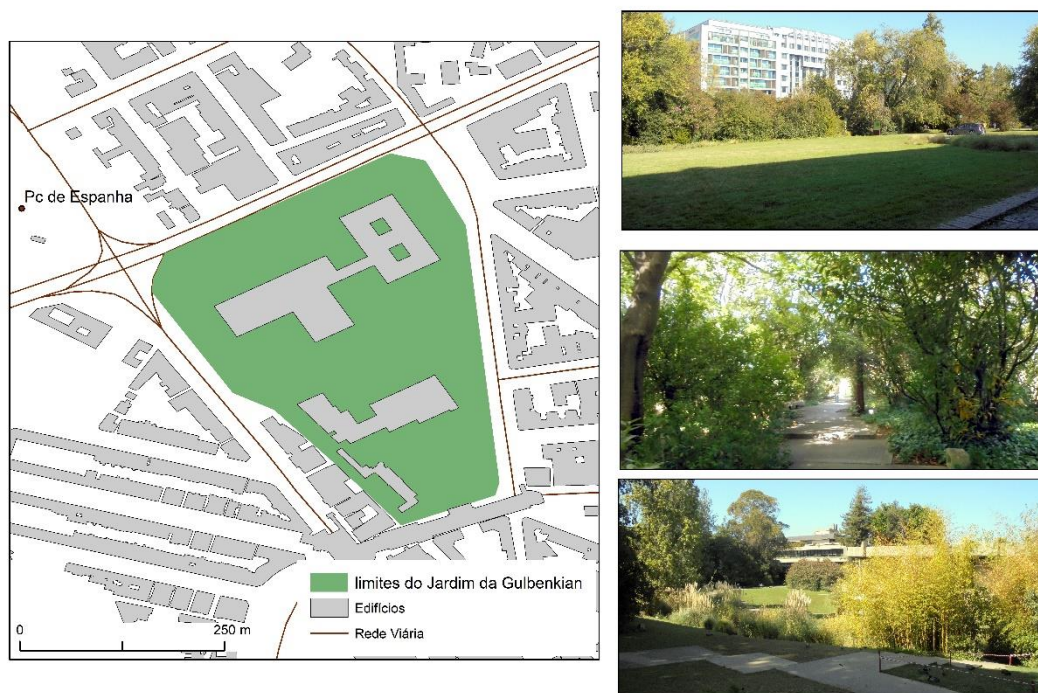


Figura 10 - Pormenores do Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian. Fonte: Geodados, CML (informação sobre os espaços verdes, edificado e rede viária)

No que diz respeito ao estado fenológico, particularmente a folheação, isto é, o período em que as folhas estão presentes nas plantas, pode afirmar-se que no Jardim Gulbenkian prevalecem as plantas com folha perene/permanente (74%), enquanto as caducifólias correspondem a apenas 25,3%. De acordo com Quintal (2014) apesar da maioria, muito significativa, de plantas perenifólias, no fim do outono e no inverno, a imagem do jardim é bastante marcada pelas árvores despidas de folhas (choupos, ulmeiros, carvalhos, plátanos, freixos, entre outros). Este autor refere, ainda, outra marca muito forte da paisagem na transição do outono para o inverno, isto é, o contraste entre as cores frias das folhagens perenifólias, da maioria de espécies de árvores e arbustos, e as cores quentes dos frutos de espécies como as romãzeiras, os azevinhos, entre outras.

Analisando a relação entre o porte das espécies e o estado fenológico, pode afirmar-se que das 84 árvores identificadas, 51 são de folha perene (60,7%), enquanto 31 correspondem a caducifólias (36,9%) e apenas 2 são marcescentes (2,4%), isto é, árvores cujas folhas morrem no outono, mas apenas caem na primavera seguinte. Quanto às herbáceas, Quintal (2014) afirma

que 67 são perenifólias (83,8%), enquanto 13 são caducifólias (16,2%). Relativamente às trepadeiras, destacam-se as plantas com folha perene, neste caso 11 (73,4%), enquanto as de folha caduca correspondem a 26,7%.

Jardim Fernando Pessa

O Jardim Fernando Pessa (fig. 11) foi inaugurado em 2005, em homenagem ao jornalista português Fernando Pessa. Localiza-se na freguesia do Areeiro e possui uma área total de cerca de 1,7 ha, sendo que mais de metade corresponde a espaços ajardinados (0,9 ha, isto é, cerca de 54%) e a restante área encontra-se ocupada por um parque infantil, um campo de jogos, um quiosque com esplanada, um espaço dedicado a cães, alguns equipamentos de fitness e caminhos pedonais (0,8 ha). Relativamente à área efetivamente ocupada por vegetação, a sua quase totalidade (0,7 ha, isto é, cerca de 80%) corresponde a relvado e apenas uma pequena porção está ocupada por canteiros e espécies arbóreas e arbustivas (Departamento de Espaços Verdes, 2018).

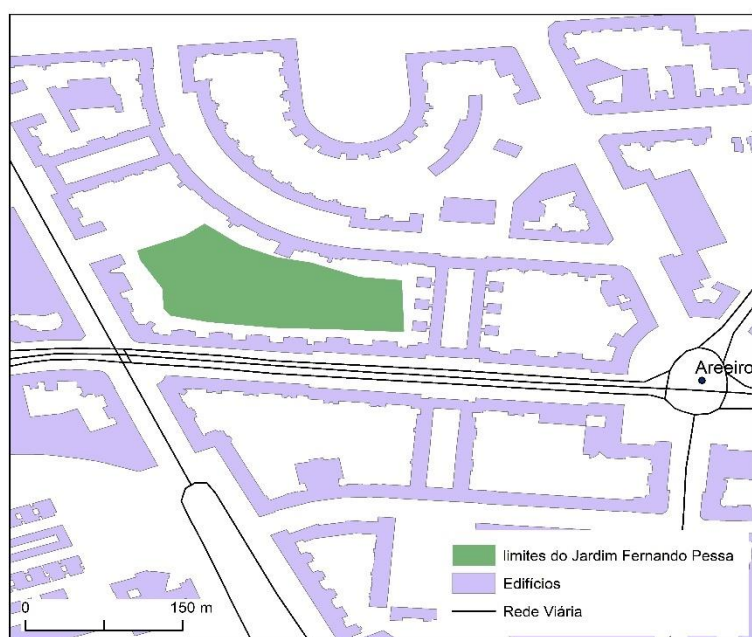


Figura 11 - Pormenores do Jardim Fernando Pessa. Fonte: Geodados, CML (informação sobre os espaços verdes, edificado e rede viária)

Quanto à vegetação, este espaço é constituído por espécies arbóreas, arbustivas e herbáceas. Relativamente às espécies arbóreas, podem ser encontrados exemplares de perenifólias e de caducifólias, sendo que estas últimas são predominantes relativamente às árvores de folha persistente, ao contrário do panorama atual da cidade. No que toca às espécies arbustivas, a grande maioria é considerada perenifólia.

Avenida Defensores de Chaves

Esta avenida, de orientação N-S, está localizada na freguesia de Arroios e possui aproximadamente 1km de extensão (fig. 9).

No que toca à topografia, pode verificar-se uma ligeira variação altitudinal (cerca de 12 metros) ao longo da Avenida, sendo que as suas extremidades se encontram numa posição mais baixa topograficamente. Observa-se, portanto, um ligeiro incremento da altitude de norte para sul.

Relativamente à vegetação presente, a avenida é composta apenas por espécies arbóreas (caducifólias) de grande porte posicionadas no centro (fig. 12).



Figura 12 - Pormenores da Avenida Defensores de Chaves

Rua Actor Isidoro

Esta rua, localizada na freguesia de Alto da Pina, apresenta sensivelmente a mesma orientação da avenida anterior (N-S), e uma extensão inferior, cerca de 600 m de comprimento

Relativamente à topografia, a avenida apresenta uma ligeira inclinação, de norte para sul, com uma variação altitudinal de cerca de 17 m, sendo que a extremidade setentrional se encontra mais elevada topograficamente do que a extremidade meridional da rua.

Esta rua não se encontra ocupada por vegetação (fig. 13), à exceção da interceção com a Alameda Afonso Dom Henrique (espécies arbóreas e grande área de relvado).



Figura 13 - Pormenores da Rua Actor Isidoro

4.3. Aquisição de dados

4.3.1. Instrumentação e software utilizados

A tabela 3 condensa todos os dados, instrumentos e software utilizados no presente estudo.

Tabela 3—Instrumentos, dados e software utilizados

		Caraterísticas	Objetivo
Instrumentos	<i>Tinytag Plus TGIS-1580; Tinytag Extra TGX-3580;</i>	<i>Tinytag Plus TGIS-1580</i> - precisão: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}/\pm 3\%$ <i>Tinytag Extra TGX-3580</i> - precisão: $\pm 0,2^{\circ}\text{C}/\pm 3\%$	Medição de parâmetros climáticos em pontos fixos
	Abrigos meteorológicos		
	<i>Thermocouple model – type K; Digitron 2080 R</i>	precisão: $\pm 0,3^{\circ}\text{C}/\pm 1,5\%$	Medições itinerantes de parâmetros climáticos
	Anemómetro <i>Kestrel; K1000 321435</i>	velocidade máxima e média do vento e a moda	
Dados climáticos	Estações meteorológicas urbanas	Medições em pontos fixos: interior e exterior do Jardim da	Análise do comportamento térmico

	(temperatura e humidade relativa)	Gulbenkian e do Jardim Fernando Pessa Medições itinerantes: interior e exterior do Jardim da Gulbenkian	dos espaços verdes; Cálculo da PCI
	Estação meteorológica de referência (IGOT)	Dados horários de temperatura do ar, humidade relativa, precipitação e velocidade média do vento	Classificação dos tipos de tempo; Correção das medições itinerantes
	Estação meteorológica do Aeroporto de Lisboa (Portela)	Dados horários da nebulosidade	Classificação dos tipos de tempo
Outros dados	Imagens de satélite (<i>Landsat 8</i>)	Órbita: circular, heliossíncrona Altitude: 705 km. Bandas utilizadas: 4 (espectro do visível - vermelho) e 5 (infravermelho próximo)	Caraterização da vegetação (NDVI); Estimação da biomassa
	Informação geográfica de base	Edifícios; Rede viária (CML)	Cartografia
	Espaços verdes	Espaços verdes (CML, Atlas Urbano); Arvoredo (CML)	Classificação dos espaços verdes da cidade de Lisboa
	Informação sobre a morfologia urbana	SVF, razão H/W ¹ , Índice de Volumetria (IV) ² e Rugosidade Aerodinâmica (ZO) ³	Estimação do potencial de arrefecimento dos espaços verdes
Software	<i>ArcGis</i> (versão 10.5.1.), <i>QGIS</i> (versão 2.18.17.)		Cálculo do NDVI e da biomassa; Interpolação de temperaturas; Classificação dos espaços verdes; Estimação da densidade de núcleos de vegetação
	<i>Tinytag Explorer</i>		Calibração e programação dos Tinytag; Recolha de dados dos instrumentos
	<i>Statistica 10</i> (versão DEMO- teste de 30 dias)		Análise estatística dos dados dos aparelhos fixos e medições itinerantes

¹ Razão H/W: razão entre a altura dos edifícios (H) e a largura das ruas (W)

² Índice de Volumetria (IV): relaciona o volume do edificado existente numa dada área (100x100m) com o volume médio que existiria se a célula estivesse toda ocupada.

³ Rugosidade aerodinâmica (ZO): índice morfométrico

4.3.2. Instalação de redes micrometeorológicas temporárias

O registo de dados climáticos tem sido um método de aquisição de informação acerca do comportamento termo-higrométrico dos espaços verdes bastante adotado em vários estudos, dada a elevada resolução temporal, sobretudo à escala microclimática, dos dados obtidos (Chang & Li, 2014; Feyisa *et al.*, 2014; Peres *et al.*, 2018), embora a resolução espacial seja relativamente inferior aos produtos provenientes da deteção remota, sendo difícil o estabelecimento de uma cobertura espacial completa de áreas extensas (Aflaki *et al.*, 2017; Chang & Li, 2014; Feyisa *et al.*, 2014; Peres *et al.*, 2018).

Podem ser seguidas duas abordagens distintas: a recolha de dados em pontos fixos e a realização de medições itinerantes. A primeira consiste no registo contínuo de dados simultaneamente em vários pontos pré-definidos, o que permite, mais facilmente, a aferição e correção dos erros associados aos instrumentos de medição (Andrade, 2003). No entanto, o mesmo autor reforça que, embora o custo dos mesmos seja relativamente baixo, comparativamente a outros instrumentos meteorológicos, pode ser ainda muito considerável, sobretudo se se pretender a instalação de uma rede com uma densidade significativa, ou seja, uma boa cobertura espacial da área de estudo. Por outro lado, as medições itinerantes permitem o registo de um número de elementos climáticos que pode ser superior ao das medições com registadores fixos e possibilitam o acesso a uma grande diversidade de locais onde não é possível a instalação de instrumentos. Contudo, a descontinuidade temporal e espacial dos dados obtidos correspondem a limitações deste tipo de abordagem e tal deve-se, por um lado, ao carácter pontual das medições e, por outro, ao desfazamento temporal entre os registos feitos nos diferentes locais, sendo normalmente necessárias correções dos dados obtidos (Alcoforado, 2010a; Andrade, 2003). Posto isto, o recurso aos dois tipos de abordagens permite ultrapassar as suas desvantagens individuais.

Escolha dos locais de medição em pontos fixos

Jardim da Gulbenkian

No que concerne os critérios de seleção dos locais de medição de parâmetros climáticos, relativamente ao Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian, procurou manter-se, por um lado, o maior número de pontos escolhidos por Andrade & Vieira (2005, 2007) para, posteriormente, se proceder a uma comparação de resultados e, por outro lado, tentou-se ir mais além, instalando-se mais alguns instrumentos no mesmo jardim, sobretudo no seu exterior, por forma a analisar com maior detalhe a variação da temperatura com o aumento da distância ao mesmo.

Na figura 14 apresenta-se um mapa com a localização dos pontos de recolha fixa de dados climáticos neste espaço verde e na tabela 4 a respetiva designação de cada instrumento, utilizada ao longo deste trabalho.

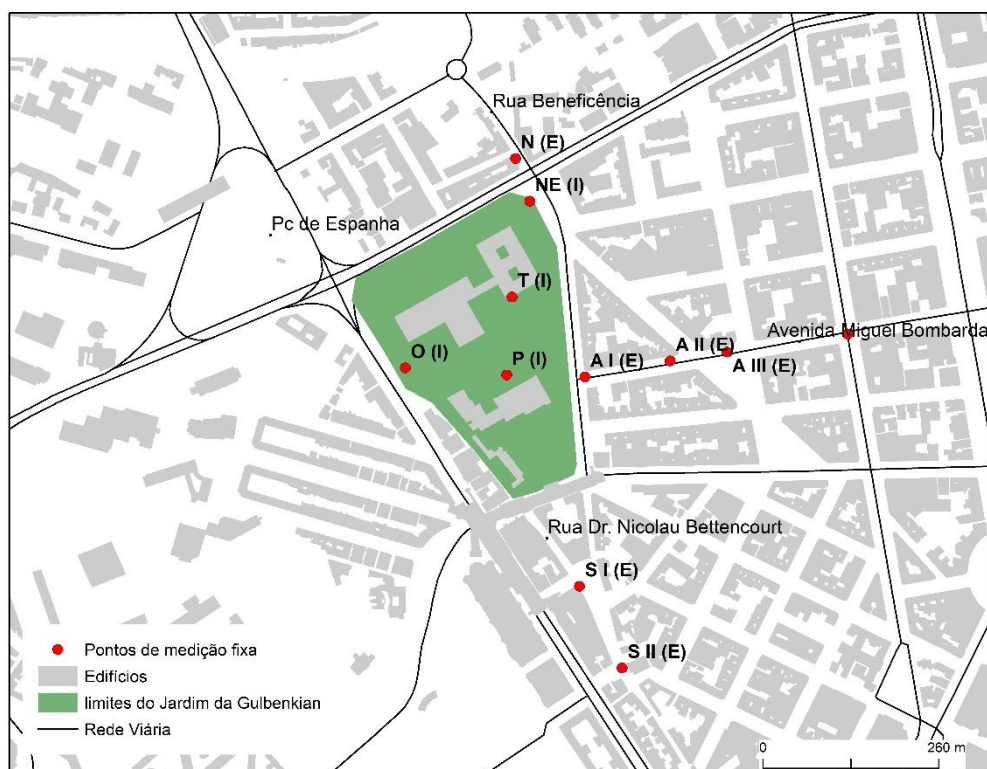


Figura 14 - Locais de medição fixa de parâmetros climáticos no Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian. Fonte: Geodados, CML (informação sobre os espaços verdes, edificado e rede viária)

Tabela 4 – Designação e localização dos instrumentos dentro e fora do Jardim da Gulbenkian

T (I)	Interior do Jardim – Telhado do edifício principal
NE (I)	Interior do Jardim - Nordeste
P (I)	Interior do Jardim - Pinhal
O (I)	Interior do Jardim - Oeste
N (E)	Exterior do Jardim – Rua da Beneficência
A I (E)	Exterior do Jardim – Avenida Miguel Bombarda (1)
A II (E)	Exterior do Jardim – Avenida Miguel Bombarda (2)
A III (E)	Exterior do Jardim – Avenida Miguel Bombarda (3)
A IV (E)	Exterior do Jardim - Avenida Miguel Bombarda (4)
S I (E)	Exterior do Jardim – Sul 1 (Rua Dr. Nicolau Bettencourt)
S II (E)	Exterior do Jardim - Sul 2 (Rua Dr. Nicolau Bettencourt)

Como se pode verificar, dentro do jardim foram instalados quatro aparelhos, um no telhado de um dos edifícios localizados na entrada, outro a nordeste (local com vegetação muito densa), um num pinhal criado recentemente neste espaço verde e, por fim, outro a oeste (local com características semelhantes ao do ponto a nordeste). Deve realçar-se que, devido ao facto de, no interior do jardim não existirem extensas áreas com exemplares exclusivamente de folha caduca e de folha persistente, não foi possível avaliar as diferenças no comportamento térmico entre estes dois tipos de vegetação.

Fora do jardim, foram instalados instrumentos em quase todos os pontos cardeais principais: a norte, tal como em Andrade & Vieira (2005, 2007), colocou-se um aparelho numa rua com orientação N-S (Rua da Beneficência), a leste, na Avenida Miguel Bombarda, optou-se por duplicar o número de instrumentos colocados por Andrade & Vieira (2005, 2007), por forma a avaliar, com mais pormenor, a variação da temperatura com o aumento da distância ao jardim. Já a sul do jardim, também se optou por instalar dois instrumentos de medição de temperatura do ar e humidade relativa. Contudo, estes foram colocados a uma distância maior, uma vez que se supõe que a influência térmica deste espaço verde terá tendência a estender-se, sobretudo, para sul, dada a elevada frequência de ventos do quadrante norte na cidade, tendo tal já sido confirmado pelos autores citados.

No anexo 1 apresenta-se a caracterização mais pormenorizada de cada local de medição fixo.

Jardim Fernando Pessa

Quanto ao jardim Fernando Pessa, espaço verde cujo comportamento térmico ainda não se encontra estudado, dada a sua reduzida dimensão, optou-se por instalar apenas um aparelho no interior e outro na sua envolvente, tal como se observa no mapa da figura 15.

O aparelho no interior do jardim foi colocado na proximidade de uma infraestrutura de apoio (poste de iluminação pública), portanto, um local onde se espera maior vigilância e uma menor probabilidade de ocorrência de ações de furto e vandalismo. Ao mesmo tempo, selecionou-se um local que fosse representativo das condições do jardim, isto é, um espaço junto a uma superfície coberta por vegetação rasteira (relva), com espécies arbustivas e arbóreas na sua envoltória, e um passeio pedonal (superfície impermeabilizada). Na área exterior a este espaço verde, optou-se por uma rua com uma orientação relativamente semelhante à orientação do jardim (NO-SE) e próxima deste (Avenida de Roma), uma vez que, dada a sua dimensão, não se espera que o seu potencial de arrefecimento seja muito acentuado e se prolongue a grandes distâncias.

Tal como para os aparelhos instalados no interior e exterior do jardim da Gulbenkian, foi produzido um quadro-síntese com as características de cada um dos locais de medição fixos no interior e na envolvente deste jardim de menores dimensões, que se apresenta no anexo 2.

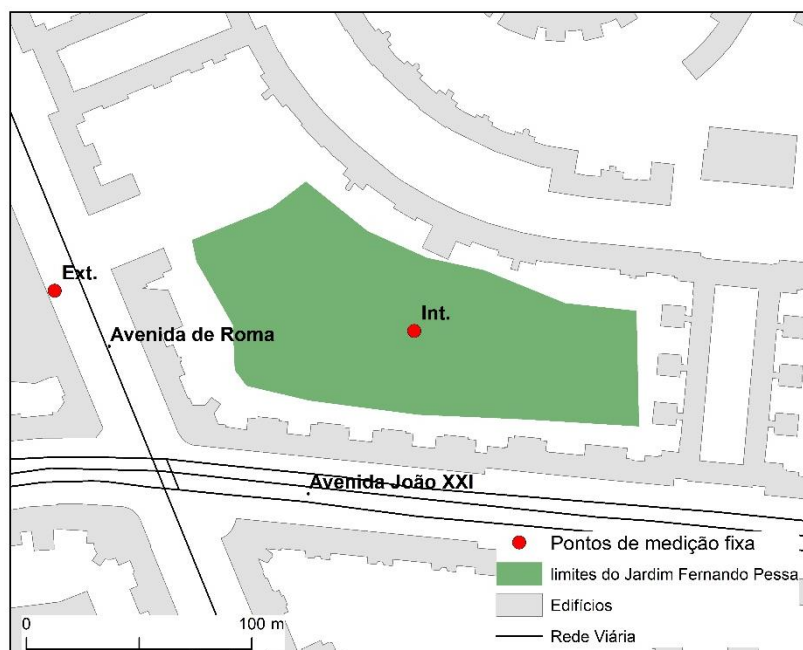


Figura 15 - Locais de medição fixa de parâmetros climáticos no Jardim Fernando Pessa. Fonte: Geodados, CML (informação sobre os espaços verdes, edificado e rede viária)

Legenda: Int. – instrumento fixo instalado no interior do jardim; Ext. – instrumento fixo instalado no exterior do jardim

A construção de abrigos meteorológicos

Os abrigos meteorológicos fornecem proteção aos aparelhos de medição de parâmetros climáticos contra a precipitação e a radiação solar direta, enquanto permitem a livre circulação do ar no seu interior e na sua envolvente (Oke, 2004).

Por forma a acomodar os instrumentos de medição escolhidos e uma vez que não existiam abrigos suficientes, foi necessária a sua construção (fig. 16), utilizando para cada um 6 pratos de plástico brancos, 1 poleia branca, 4 varões roscados, 50 porcas, 3 abraçadeiras finas e 4 grossas e uma folha de cortiça

Os passos para a conceção destes abrigos encontram-se sistematizados na figura 17. Deve referir-se que a escolha da cor branca para os pratos deveu-se ao facto de permitir uma maior quantidade reflexão da radiação solar possível, evitando o provável aquecimento do aparelho e dados anormais.

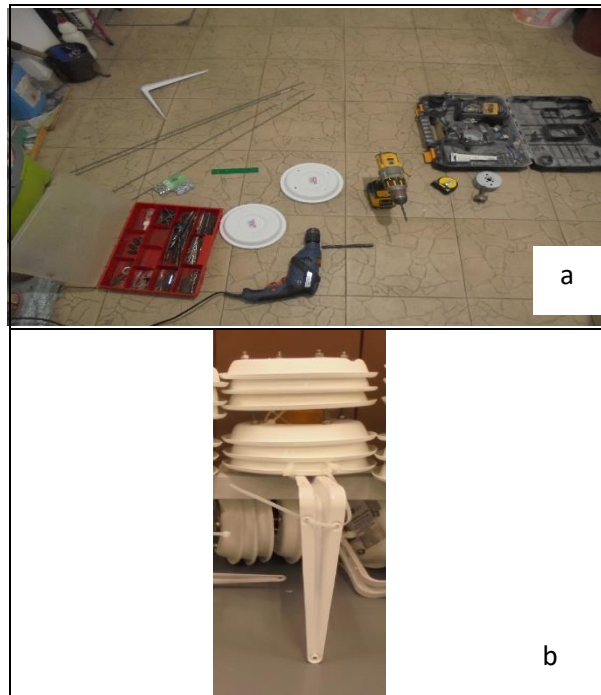


Figura 16 - a: Material para a construção do abrigo meteorológico; b: Abrigo meteorológico



Figura 17 - Etapas na construção de um abrigo meteorológico

Após a construção dos abrigos, todos os instrumentos foram testados e comparados sob as mesmas condições, e, uma vez que os resultados observados foram semelhantes entre aparelhos, não se procedeu a qualquer tipo de calibração. Após o período de teste de funcionamento, os instrumentos foram inseridos nos respectivos abrigos, tendo sido realizada uma nova avaliação a todos, por forma a verificar se o abrigo produziria alterações nos dados registados. Também não se verificou nenhuma anomalia, confirmando a eficácia dos abrigos construídos.

A Instalação dos instrumentos em pontos fixos

Relativamente aos procedimentos para a instalação dos aparelhos, é importante referir que todos os instrumentos foram colocados tendo em conta as normativas da WMO para a instalação de redes climáticas urbanas (Oke, 2004). Por um lado, garantiu-se a mesma orientação (norte), uma vez que grande parte da radiação solar direta provem do quadrante sul, evitando-se, assim, a incidência da mesma sobre os instrumentos e, portanto, medições enviesadas dos parâmetros climáticos. Ao mesmo tempo, em relação ao jardim da Gulbenkian e, no que toca ao seu interior (numa fase inicial, apenas foram instalados instrumentos neste local), com exceção do aparelho instalado no telhado verde, por questões logísticas (foi instalado junto ao rebordo do edifício, a 11 m da superfície), os restantes três aparelhos foram instalados a 3,5 m da superfície, visto que, de acordo com Oke (2004), as medições de parâmetros climáticas feitas entre os 3 e os 5m de altura diferem muito pouco das medições efetuadas à altura do ser humano e evitam possíveis furtos ou ações de vandalismo dado o difícil alcance dos instrumentos.

Quanto ao suporte, dois aparelhos foram instalados em postes de metal e para o seu isolamento, recorreu-se a uma folha fina de cortiça. Pelo contrário, o rebordo do telhado onde foi colocado o restante aparelho não foi isolado com cortiça dado que a estrutura não o permite.

Já no exterior deste jardim, os instrumentos foram colocados em postes de iluminação pública, mais uma vez, previamente isolados.

Quanto ao jardim Fernando Pessa, tanto o aparelho no seu interior, como o aparelho no seu exterior, foram instalados em postes de iluminação e à mesma altura dos aparelhos no jardim da Gulbenkian (3,5 m).

Relativamente ao tempo de recolha dos dados, optou-se por um intervalo de 30 minutos em todos os instrumentos, tal como em Colunga et al. (2015) e Velho (2012). De seguida encontra-se uma tabela (5) com o período de recolha de dados em cada local de medição fixa.

Tabela 5 - Datas de registo de dados de temperatura do ar e humidade relativa em pontos fixos (2018)

Aparelhos		Data (2018)
Interior do Jardim da Gulbenkian	Telhado (T (I))	03/02 a 27/7
	Pinhal (P (I))	
	Oeste (O (I))	
Exterior do Jardim da Gulbenkian	Nordeste (NE (I))	03/02 a 07/06
	Norte (N (E))	16/04 a 27/07
	Oeste - Avenida M.B. -1º (A I (E))	03/02 a 27/07
	Oeste - Avenida M.B. 2º (A II (E))	
	Oeste - Avenida M.B. 3º (A III (E))	03/02 a 19/02 e 06/03 a 27/07
	Oeste - Avenida M.B. 4º (A IV (E))	03/02/ a 27/07
	Sul - Rua Dr. N.B. 1º (S I (E))	16/04 a 27/07
	Sul - Rua Dr. N.B. 2º (S II (E))	
Jardim Fernando Pessa	Interior (Int.)	03/02 a 19/02 e 06/03 a 27/07
	Exterior (Ext.)	

As medições itinerantes de parâmetros climáticos

Jardim da Gulbenkian

A opção pela recolha móvel de dados de temperatura do ar e humidade relativa justificou-se, não só pelas distintas vantagens da técnica, referidas anteriormente, mas também pela possibilidade de se poder completar, de certo modo, os dados provenientes dos aparelhos fixos. Uma vez que não se encontravam disponíveis instrumentos fixos suficientes para cobrir as diversas condições termo-higrométricas dentro e fora do jardim da Gulbenkian. Para avaliar o efeito da vegetação em ruas e avenidas, optou-se pela realização de medições itinerantes em percursos pré-definidos. Ao mesmo tempo, garantiam-se dados suficientes para a análise do potencial de arrefecimento deste espaço, em caso de avaria ou vandalismo/furto dos instrumentos fixos, motivo pela qual grande parte dos pontos de medição itinerante coincidem com locais onde foram instalados previamente os aparelhos. Estes instrumentos fornecem, frequentemente, medições erradas da humidade relativa (quando há condensação dentro do abrigo), situação que efetivamente se verificou na presente investigação, conduzindo a inúmeras falhas e períodos sem registos fidedignos, visto que não possuem ventilação forçada. Por este motivo, as medições itinerantes permitiam caraterizar a humidade da atmosfera dentro e fora destes.

Relativamente aos percursos, em primeiro lugar garantiu-se que tais eram exequíveis, quer recorrendo a um veículo de transporte, quer a pé (modo de locomoção utilizado nas presentes medições), num período inferior a uma hora, por forma a que os valores obtidos decorram dos diferentes tipos de morfologia urbana, dos materiais predominantes das superfícies, da

orientação das ruas, da posição topográfica e, sobretudo, da presença ou ausência de espaços verdes, e não da variação diária normal das variáveis meteorológicas.

No jardim da Gulbenkian foram elaborados quatro itinerários no seu exterior, seguindo as quatro orientações principais (norte, sul, este e oeste), e um itinerário no interior do jardim, cobrindo condições térmicas distintas (locais à sombra e ao sol; locais com vegetação muito densa; espaços abertos e amplos, com apenas vegetação rasteira; locais na proximidade de corpos de água). Tais percursos podem ser visualizados no mapa da figura 18. É de salientar que todos os itinerários se encontram numerados, sendo que os números correspondem à ordem das medições efetuadas. Para além disto, os roteiros no exterior do jardim irradiam sempre deste espaço verde para a área envolvente, isto é, iniciam-se na proximidade do mesmo e terminam nos pontos mais afastados de cada percurso.

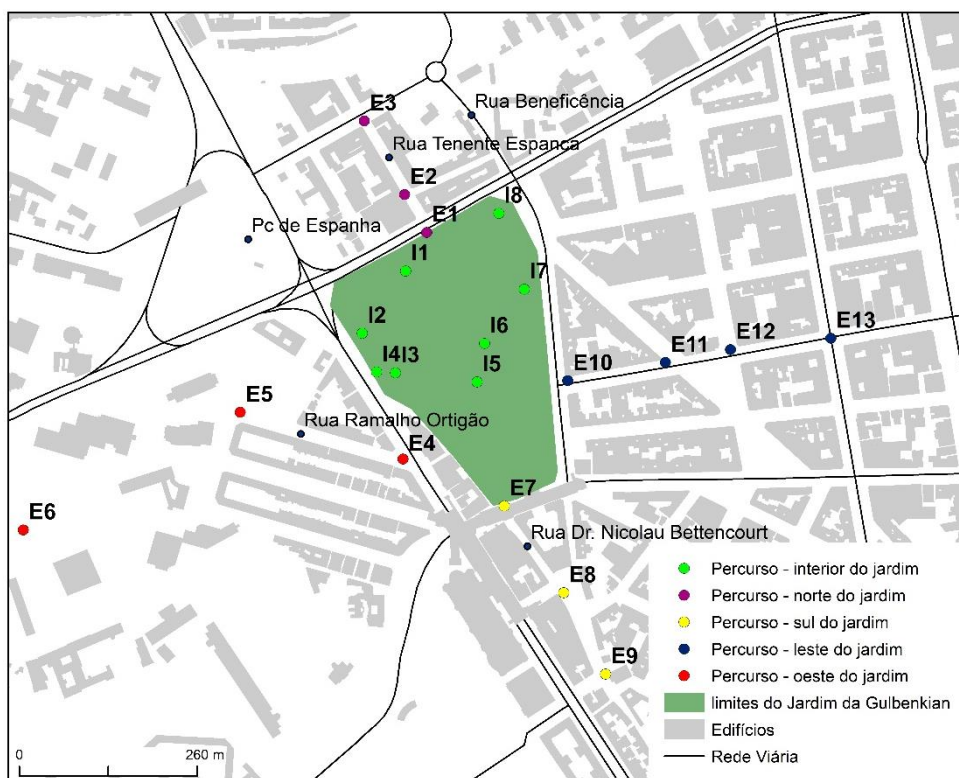


Figura 18 - Percursos das medições itinerantes no interior e no exterior do Jardim da Gulbenkian.
Fonte: Geodados, CML (informação sobre os espaços verdes, edificado e rede viária)

Ainda, relativamente aos percursos no exterior do jardim, é importante salientar que a escolha dos pontos obedeceu a um conjunto de critérios: optou-se sempre por locais que correspondessem a cruzamentos de ruas, permitindo a livre circulação do ar e a comparação de dados.

Uma vez que se pretende analisar, de forma superficial, a relação entre a distância ao jardim e o seu potencial de arrefecimento, segue-se um mapa (fig. 19) que sistematiza e apresenta a localização de pontos os pontos de recolha de dados climáticos (fixos, itinerantes e fixos e itinerantes), bem como as distâncias dos mesmos aos limites do jardim da Gulbenkian.

Por forma a resumir as características principais de cada percurso de medição itinerante construiu-se o quadro apresentado no anexo 3.

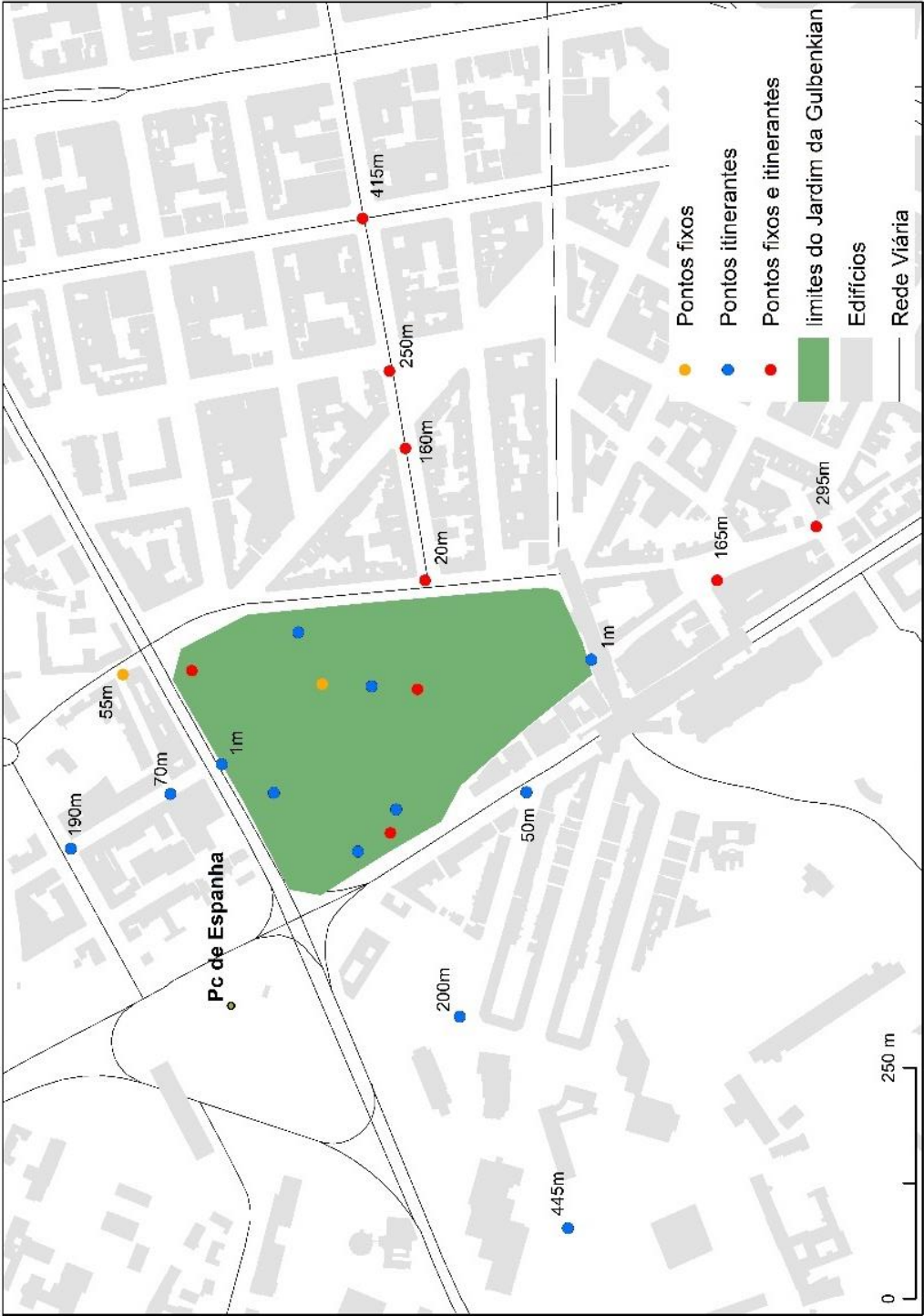


Figura 19 - Distância dos pontos de medição fixa e itinerante no exterior do Jardim da Gulbenkian (2018). Fonte: Geodados, CML (informação sobre os espaços verdes, edificado e rede viária)

Avenida Defensores de Chaves e Rua Actor Isidoro

Quanto aos percursos em ruas com e ruas sem vegetação, apresenta-se um mapa (fig. 20) com os percursos definidos.

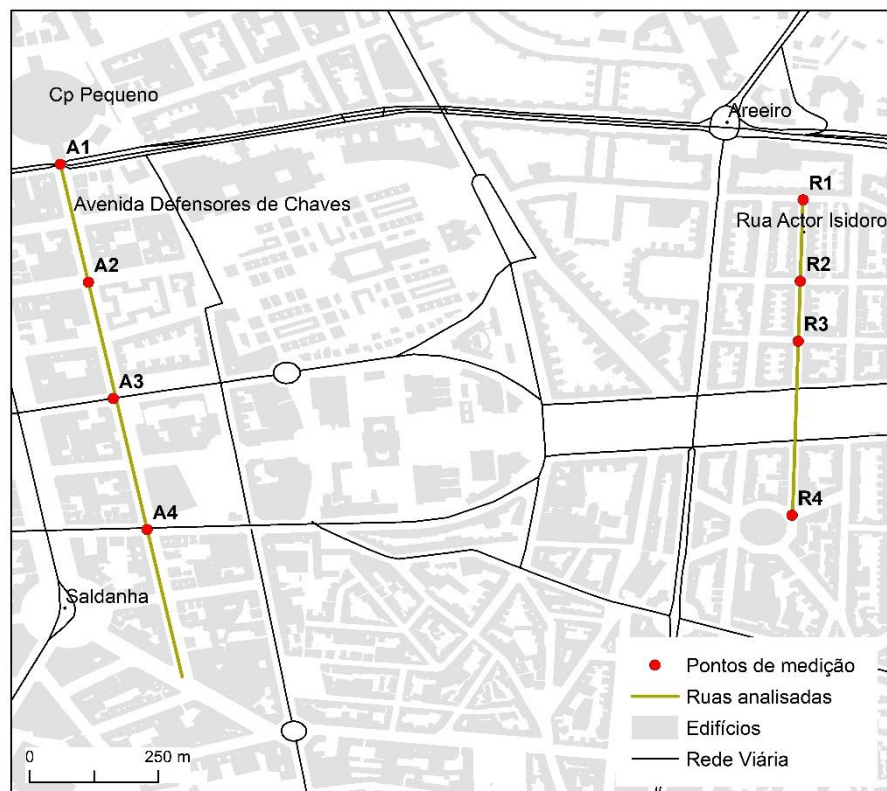


Figura 20 - Localização dos pontos de medição itinerante numa rua com vegetação (Avenida Defensores de Chaves) e numa rua sem vegetação (Rua Actor Isidoro). Fonte: Geodados, CML (informação sobre o edificado e rede viária)

Para cada rua foram escolhidos quatro pontos de medição, todos em cruzamentos, tal como nos percursos do exterior do jardim da Gulbenkian. Mais uma vez, elaborou-se um quadro-síntese das características dos pontos de medição itinerante em ambas as ruas, apresentado no anexo 4.

Quanto à escolha das condições meteorológicas para a realização das medições, preferiram-se sempre dias com céu limpo (nebulosidade inferior ou igual a 3/8), uma vez que são esperadas maiores diferenças no comportamento da temperatura do ar e, portanto, maiores contrastes térmicos entre os espaços verdes e as áreas construídas envolventes. As tabelas 6 e 7 sintetizam as datas das medições efetuadas no interior e no exterior do jardim da Gulbenkian e nas ruas com e sem vegetação, bem como as condições meteorológicas gerais desses mesmos dias.

Tabela 6 - Medições itinerantes no interior e no exterior do Jardim da Gulbenkian (2018): datas e condições meteorológicas gerais

Data	Momento do dia	Nebulosidade (estação do Aeroporto de Lisboa – Portela)	Velocidade média do vento (estação do IGOT)	Direção do vento (estação do IGOT)
24/04/2018	Manhã (entre as 10 h e as 13 h)	Sem dados	3,7 m/s	N
20/05/2018	Manhã (entre as 9h e as 12h)	Sem dados	2,3 m/s	NNE
18/06/2018	Meio do dia (entre as 11h e as 14 h)	Sem dados	3 m/s	ENE
25/06/2018	Manhã (entre as 9h e as 12 h)	0/8 a 2/8	1,7 m/s	N
07/07/2018	Tarde (entre as 14h e as 16h)	0/8 a 2/8	3,7 m/s	N
09/07/2018	Tarde (entre as 14h e as 17h)	Sem dados	3 m/s	N
23/07/2018	Meio do dia (entre as 13h e as 15h)	0/8 a 2/8	2,3 m/s	ONO

Fontes: https://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.phtml?network=PT_ASOS ;
IGOT/CEG (Grupo de Investigação Zephyrus)

Quanto à recolha itinerante de dados, foram seguidos alguns procedimentos importantes:

- para evitar o aquecimento do instrumento de medição da temperatura do ar e humidade relativa devido à condução do calor através dos aparelhos e à influência da radiação solar direta, fatores que influenciam a temperatura do ar, utilizou-se uma cobertura (folha de papel) sob o instrumento;
- todas as medições foram feitas no centro das ruas e avenidas, afastando-se o máximo possível da influência direta das superfícies verticais (como as fachadas dos prédios), a cerca de 2 m do solo;
- de modo a garantir que as medições correspondiam às condições do local naquele momento, os instrumentos foram estabilizados antes do registo dos dados e;
- no caso dos percursos no exterior do jardim da Gulbenkian, foi evitada, sempre que possível a recolha de dados junto ou debaixo de árvores.

Tabela 7 - Medições itinerantes em ruas com e sem vegetação (2018): datas e condições meteorológicas gerais

Data	Momento do dia	Nebulosidade (estação do Aeroporto de Lisboa – Portel)	Velocidade média do vento (estação do IGOT)	Direção do vento (estação do IGOT)
18/06/2018	Manhã (9h às 11h)	Sem dados	4,7 m/s	ENE
25/06/2018	Meio do dia (12 às 14h)	0/8 a 2/8	2,3 m/s	SSO
26/06/2018	Meio do dia (13 às 14h)	0/8 a 2/8	3 m/s	N
06/07/2018	Manhã (9h às 11h)	0/8 a 2/8	4,3 m/s	NNO
08/07/2018	Meio do dia (12h às 14 h)	0/8 a 2/8	2 m/s	N
16/07/2018	Tarde (entre as 14 e as 15h)	0/8 a 2/8	3,3 m/s	N
17/07/2018	Tarde (entre as 14 e as 15h)	0/8 a 2/8	4 m/s	N
26/07/2018	Meio do dia (entre as 13h e as 14h)	0/8 a 2/8	3,7 m/s	NNO

Fontes: https://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.phtml?network=PT_ASOS ; IGOT/CEG (Grupo de Investigação Zephyrus)

4.3.3. A utilização de imagens de satélite na determinação da “biomassa urbana”

Segundo Long et al. (2013), a biomassa corresponde ao material biológico proveniente de organismos vivos, sobretudo plantas. Por outras palavras, a biomassa é a quantidade de matéria orgânica produzida numa determinada área. O seu cálculo reveste-se de especial importância uma vez que, segundo Alves & Lopes (2017), a relação entre a mesma e o NDVI permite determinar a quantidade de vegetação necessária para que se reduza 1°C na temperatura do ar citadino, informação fundamental no planeamento urbano. Para além disto, este indicador da quantidade de vegetação apresenta algumas vantagens relativamente ao NDVI, nomeadamente a sua facilidade de apreensão e transposição prática no planeamento e design dos espaços verdes, ao contrário do NDVI cuja interpretação é vaga numa escala adimensional.

O NDVI corresponde a um índice normalizado, que permite a deteção e quantificação da vegetação através da razão da diferença entre a banda do infravermelho próximo, caracterizada por elevados níveis de refletância e fraca absorção da vegetação, e a banda do vermelho do espectro eletromagnético no espectro visível, onde a refletância espectral é baixa, dominando a absorção por parte da vegetação através do processo de fotossíntese, tal como se pode observar fórmula 2 que descreve este índice:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (2)$$

Onde,

NIR corresponde à banda do infravermelho próximo e;

Red representa a banda do vermelho.

Este índice varia entre -1 e 1 (superfícies completamente cobertas por vegetação), sendo que os valores intermédios, próximos de zero, correspondem a áreas com fraco ou nenhum coberto vegetal, nomeadamente corpos de água, rocha nua, areia, neve, entre outros. Segundo Santos (2009), os valores de NDVI distinguem as áreas verdes, embora existam algumas dúvidas acerca do limiar preciso. Ainda assim, têm sido identificados outros patamares de referência para este índice: valores entre 0,2 e 0,3 distinguem relvados e áreas cobertas por arbustos; valores superiores a 0,3 indicam a presença de vegetação arbórea relativamente densa, sendo que um NDVI acima de 0,6 poderá ser relevador da existência de florestas e áreas densamente povoadas por espécies vegetais.

Entre as suas diversas aplicações ao longo dos anos, podem destacar-se a classificação do solo e da vegetação, a avaliação das suas mudanças, a estimação da humidade presente no solo, a avaliação de situações de stress nas plantas, como secas, pragas, doenças e utilização de produtos químicos, a avaliação da produtividade das mesmas e, mais relevante para o presente trabalho, a determinação da biomassa vegetal.

Ainda assim, este índice possui alguns inconvenientes, em particular a sensibilidade à dispersão da radiação (efeitos atmosféricos) e a valores elevados de irradiância na banda do infravermelho próximo, gerando problemas de saturação em áreas densamente vegetadas. Para além disto, a precisão do NDVI como proxy da biomassa depende do local em análise e da sua exposição, do tipo de cobertura e uso do solo, da estação do ano e, ainda, do estado de crescimento das plantas (Garrouette et al., 2016). Por estes motivos, a sua sensibilidade para determinar a biomassa varia de ambiente para ambiente. A título de exemplo, Formica et al., (2017) defendem que o NDVI pode apresentar uma precisão limitada em áreas com vegetação escassa e em ambientes áridos e semiáridos, devido à contaminação dos dados pela refletância do substrato. Ao mesmo tempo, Filella et al. (2004) concluíram que este índice apresenta alguma sensibilidade a mudanças na biomassa e na fenologia dos matagais mediterrâneos estudados. Tal como a maioria dos índices, o NDVI não recorre a todas as bandas espectrais disponíveis. No entanto, os dados contidos no espectro não utilizado podem conter informações úteis (Calisto, 2011).

A biomassa pode ser estimada a partir de métodos destrutivos ou não destrutivos, com recurso a produtos da deteção remota. Os primeiros implicam, de facto, o corte e/ou abate de alguns exemplares das espécies presentes numa dada área, caracterizando-se, portanto, pela sua grande precisão, derivada do intensivo trabalho de campo requerido para a recolha de tais amostras. No entanto, por estes motivos, são considerados métodos destrutivos e, pelo facto de serem extremamente morosos, dispendiosos e intensivos em mão-de-obra, são difíceis de

implementar, tanto em áreas extensas, como em locais inacessíveis e remotos ou que albergam fauna e flora ameaçadas e em vias de extinção, restringindo os resultados a reduzidas áreas (Galidaki *et al.*, 2017; Kumar *et al.*, 2015; Kumar & Mutanga, 2017; Lumbierres *et al.*, 2017; Muñoz *et al.*, 2010; Du *et al.*, 2014; Garcia *et al.*, 2010; Zhu e Liu, 2015; Goh *et al.*, 2011; Gunlu *et al.*, 2014).

Em contraste, os produtos da detecção remota têm sido, nos últimos anos, amplamente utilizados para a monitorização e mapeamento da vegetação, em particular a estimacão da biomassa, tornando-se uma alternativa aos métodos tradicionais, sendo que os primeiros trabalhos se reportam à década de 1980. Embora se encontrem ainda numa fase experimental, vários estudos têm confirmado que o uso de imagens de satélite permite a estimacão da biomassa com erros aceitáveis (e.g. Hentz *et al.*, 2014). Entre as suas vantagens podem destacar-se as seguintes (Hentz *et al.*, 2014; Du *et al.*, 2014; Fernández-Manso *et al.*, 2014; García *et al.*, 2010; Timothy *et al.*, 2016):

- é um método não destrutivo, ao contrário das técnicas convencionais;
- correlações fortes entre as bandas espectrais e vários parâmetros da vegetação;
- permite a monitorização de extensas áreas, dada a sua cobertura global, mesmo sendo estas remotas e/ou inacessíveis;
- custo relativamente acessível;
- precisão aceitável;
- possibilita a observação sistemática a diferentes escalas espaciais (da global à local) e temporais, a partir de um grande número de plataformas;
- permite a análise de tendências e mudanças contínuas na biomassa, isto é, a sua monitorização, a partir da grande oferta de dados históricos e;
- o seu formato digital facilita o processamento rápido de grandes porções de dados em ambiente SIG.

No que toca à qualidade da informação da detecção remota a utilizar na determinação da biomassa, pode recorrer-se a imagens de radar, dados com elevada resolução espacial, como fotografias aéreas e imagens de satélites como o *IKONOS*, *Quickbird*, entre outros; dados com resolução espacial média, isto é, entre os 10 e os 100m, que permitem fazer estimacões à escala local e regional, como o *Landsat*; dados com resolução espacial grosseira, isto é, com resolução superior a 100 m, onde se enquadram as imagens de satélites como o *SPOT Vegetation* e o *MODIS*, permitindo unicamente estimacões à escala nacional, continental ou, mesmo, global (Kumar *et al.*, 2015; Lu, 2006).

Os modelos de estimacão da biomassa mais comuns baseados neste tipo de produtos resumem-se a análises de regressão múltipla, redes neurais artificiais, técnicas não paramétricas recorrendo ao método do vizinho mais próximo e índices de vegetação, derivados a partir das propriedades de refletância espectral das espécies vegetais. Tal deve-se à constatação, em vários estudos, da existência de uma relação positiva significativa entre estes índices e a biomassa (e.g. Das & Singh, 2012), isto é, permitem a interpretação de inúmeras características do coberto vegetal presente numa dada área.

De todos os índices testados, o NDVI tem sido o mais utilizado dada a sua simplicidade e facilidade de cálculo e ao facto de ser um bom indicador das características da vegetação, nomeadamente a biomassa e a produção primária, entre outras, gerando, assim, bons resultados em vários estudos (Hentz *et al.*, 2014; Coltri *et al.*, 2009; Garroutte *et al.*, 2016; Formica *et al.*, 2017; Fernandez-Alonso *et al.*, 2014; Das e Singh, 2012). De acordo com Lopes, 2003, os valores mais elevados do NDVI correspondem a áreas onde o coberto vegetal é muito denso, pelo que a biomassa será mais elevada.

Em suma, a estimação da massa verde a partir de produtos da detecção remota é um processo que envolve múltiplos fatores a considerar, nomeadamente a complexidade dos ambientes biofísicos, os modelos e algoritmos a seleccionar, as limitações nas resoluções espacial, espectral e radiométrica dos dados, problemas de saturação das imagens, entre outros (Goh *et al.*, 2011; Günlü *et al.*, 2014; Kumar *et al.*, 2015; Lu, 2006). Ao mesmo tempo, os satélites disponíveis e que têm sido mais utilizados para a estimação da biomassa, como as plataformas *Landsat* e *SPOT Vegetation*, fornecem imagens com insuficiente detalhe para detetar a vegetação urbana e com “pixéis mistos”, isto é, células que contêm diferentes usos do solo e tipos de vegetação no seu interior (Fernández-Manso *et al.*, 2014; Galidaki *et al.*, 2017; Goh *et al.*, 2011; Günlü *et al.*, 2014).

Neste trabalho, os produtos da detecção remota, particularmente as imagens de satélite, foram utilizadas para caracterização da vegetação no interior e na envolvente de um espaço verde e a estimação da biomassa da cidade, tendo-se utilizado esta última no cálculo da densidade de núcleos de vegetação no interior e no exterior de um espaço verde (Jardim da Gulbenkian) para a posterior tentativa de estimação do potencial de arrefecimento desse mesmo jardim.

Focando apenas a problemática da determinação da biomassa em ambiente urbano a partir de produtos da detecção remota, têm sido escassos os estudos efetuados (exemplos: McHale *et al.*, 2009; Raciti *et al.*, 2014). Tal deve-se à complexidade da tarefa: em primeiro lugar, a quantidade de vegetação presente numa cidade é relativamente reduzida na maioria dos casos e a sua estrutura e distribuição espacial caracterizam-se por uma elevada heterogeneidade e fragmentação, motivadas pelas rápidas mudanças de uso do solo em curtas distâncias; ao mesmo tempo, a quantidade de materiais e objetos construídos pelo Homem é elevada, influenciando fortemente o crescimento e a fenologia da vegetação; ainda, a falta de medições de campo prejudica a consistência das estimações e dos resultados obtidos (Goh *et al.*, 2011; McHale *et al.*, 2009).

Por outro lado, a quase totalidade dos mesmos estudos recorre a modelos desenvolvidos, testados e aplicados em áreas de floresta ou com pouca intervenção humana. Contudo, tem-se provado que tal estratégia nem sempre é a abordagem mais correta, uma vez que as diferenças entre as características da vegetação dos dois ambientes são muito consideráveis e os satélites utilizados para a determinação da biomassa em florestas, nomeadamente as imagens do *SPOT* e *Landsat*, possuem uma resolução inadequada, isto é, fornecendo pouco detalhe espacial, para a detecção e diferenciação da vegetação à escala da cidade (Goh *et al.*, 2011; McHale *et al.*, 2009; Ngo & Lum, 2018; Raciti *et al.*, 2014).

Para além disto, as amostras de biomassa a partir de trabalho de campo revestem-se de grande importância para a calibração dos modelos gerados com base em produtos da detecção remota,

bem como a verificação dos resultados (Galidaki et al., 2017), pelo que, quando é possível, não devem ser descuradas por completo.

No presente estudo, para a determinação deste parâmetro, recorreu-se unicamente a dados provenientes da deteção remota sem verificação de campo.

Quanto ao satélite, optou-se pelo *Landsat 8*. Este foi lançado muito recentemente (fevereiro de 2013), possuindo uma órbita polar e heliosíncrona, a uma altitude de cerca de 705 km. É composto por dois sensores, o OLI (Operacional Land Imager) e o TIRS (Thermal Infrared Sensor). Relativamente aos motivos de escolha deste satélite, embora não seja o mais adequado, pelos motivos referidos anteriormente, tem sido o mais utilizado na determinação da massa verde à escala local e regional e o satélite com mais séries de dados completas e disponibilizadas ao público (Eisfelder et al., 2012; Galidaki et al., 2017; Lu, 2005; Lu, 2006, 2012; Zhu & Liu, 2015).

Neste trabalho, optou-se por imagens com a menor cobertura nebulosa possível. Por este motivo, existem falhas de dados em alguns meses, sobretudo nos mais chuvosos.

4.4. Tratamento estatístico e numérico dos dados para a avaliação do potencial de arrefecimento da temperatura do ar

4.4.1 Medições de parâmetros climáticos em pontos fixos

4.4.1.1. Classificação em tipos de tempo

A interpretação de dados acerca do comportamento térmico dos espaços verdes, provenientes de instrumentos fixos, tem sido efetuada sem a consideração plena pela multiplicidade de condições meteorológicas que poderão favorecer ou atenuar os contrastes térmicos entre os espaços verdes e as áreas construídas envolventes. Os outputs recolhidos são analisados como um todo, independentemente das condições de tempo locais. Tendo em conta a bibliografia consultada, são, ainda, inexistentes as classificações dos tipos de tempo produzidas exclusivamente para a avaliação do potencial de arrefecimento da vegetação em meio urbano. A título de exemplo, Lee et al. (2009), no seu estudo sobre os efeitos de um espaço verde na temperatura do ar em Seoul (Coreia do Sul), apenas optaram por excluir dados de medições efetuadas em dias chuvosos ou com nebulosidade igual ou superior a 4/8 e velocidade do vento superior a 3,4 m/s, considerando que nestas condições meteorológicas não se desenvolvem contrastes térmicos significativos entre um jardim e a sua área envolvente.

Para além disto, deve referir-se que a intensidade das PCI depende, não só mas também, das condições meteorológicas observadas (Andrade & Vieira, 2005, 2007; Oliveira et al., 2011) e que o significado e a possibilidade de generalização das observações varia muito com as condições meteorológicas da altura em que são feitas (Ganho, 2001).

Para este trabalho elaborou-se uma classificação dos tipos de tempo tendo por base variáveis climáticas com efeitos verificados no comportamento térmico da vegetação, nomeadamente o

vento (Chow et al., 2010; Upmanis et al., 1998; Upmanis & Chen, 1999) e a nebulosidade (Upmanis et al., 1998; Upmanis & Chen, 1999), e corresponde a uma adaptação da classificação dos tipos de tempo proposta por Ganho (2001). O mesmo autor apresenta uma metodologia para a análise climática local em ambiente urbano, baseada em grupos de combinações de variáveis climáticas, entre as quais a nebulosidade e a velocidade do vento, motivo pela qual se optou por adaptar esta proposta.

No geral, a adaptação desta classificação consistiu num ajuste dos seus limiares e numa diminuição dos tipos de tempo descritos, motivada pelo tamanho reduzido da amostra de dados de temperatura do ar e humidade relativa obtida na presente investigação.

A proposta de classificação apresenta-se na tabela 8.

Tabela 8 - Classificação em tipos de tempo em Lisboa (2018)

Grupo	Limiares de nebulosidade	Limiares de velocidade do vento
1	Inferior ou igual a 4/8	Inferior ou igual a 5,7 m/s
2	Inferior ou igual a 4/8	Superior a 5,7 m/s
3	Outras condições meteorológicas: <ul style="list-style-type: none"> • Dias chuvosos, isto é, com precipitação igual ou superior a 0,1 mm; • Dias com velocidade do vento inferior ou igual a 5,7 m/s e nebulosidade superior a 4/8 e; • Dias com velocidade do vento superior a 5,7 m/s e nebulosidade superior a 4/8) 	

Quanto à caracterização de cada um dos tipos de tempo, os dois primeiros grupos foram considerados, para a presente análise do potencial de arrefecimento da vegetação numa cidade, como os mais relevantes por favorecerem o surgimento e a intensificação das PCI. Por um lado, o grupo 1 corresponde a dias com ausência de vento ou vento fraco e céu limpo ou com poucas nuvens, o que permite a maior incidência da radiação solar direta na superfície, acentuando os possíveis contrastes térmicos espaciais, tanto de dia, como de noite, de acordo com Ganho (2001). Por outro lado, no grupo 2 foram integrados os dias com, mais uma vez, nebulosidade fraca ou inexistente, mas com vento moderado a forte, atenuando ligeiramente estes contrastes, mas, que, ainda assim, podem ter forte radiação solar direta sobre a superfície.

Pelo contrário, o grupo 3 incorpora as restantes condições meteorológicas observadas que não favorecem o desenvolvimento de contrastes térmicos significativos, isto é, dias chuvosos, dias com nebulosidade moderada a elevada e vento moderado a forte e, ainda, dias com vento fraco, mas nebulosidade moderada a elevada.

Desta classificação se poderá concluir que a cobertura nebulosa é a variável climática com maior peso na diferenciação térmica entre um espaço verde e a sua área envolvente.

Uma vez que os limiares apresentados por Ganho (2001) não se adequam à realidade climática da cidade de Lisboa, optou-se por efetuar uma classificação baseada nos percentis 50, 75 e 90, do vento. Para tal, foram utilizados os dados da velocidade média da estação do Aeroporto (Lisboa/Portela), com uma periodicidade de 30 minutos, registados no ano de 2017. Selecionou-se como limiar o percentil 75 (5,7 m/s), por ser o melhor compromisso entre o número de dias em que se esperam mais contrastes térmicos entre um jardim e a sua envolvente, e as restantes condições em que estes mesmos contrastes são atenuados.

A nebulosidade foi dividida em dois grupos: nebulosidade fraca (até 4/8) e nebulosidade moderada a elevada (superior a 4/8).

Tendo os limiares dos grupos definidos, esta classificação foi aplicada aos dias da amostra de estudo. É de destacar que, para tal classificação, utilizou-se os dados da rajada média máxima diária, com uma periodicidade de 15 minutos, registados na estação do IGOT (representada na fig. 9). Quanto à nebulosidade, recorreu-se aos valores máximos diários observados na estação do Aeroporto de Lisboa (Lisboa, Portela, descarregados no site do *IOWA State University*). No entanto, quando estes últimos eram inexistentes ou não se encontravam disponíveis, foram utilizados os dados de nebulosidade registados na estação Gago Coutinho e descarregados no site da OGIMET (<https://www.ogimet.com/>). Quando aqui se encontravam indisponíveis, os dias não foram agrupados a nenhum tipo de tempo e, portanto, não foram tratados. É, ainda, importante referir que, para a classificação dos dias chuvosos, recorreu-se aos dados de precipitação registados na estação do IGOT, com a mesma periodicidade dos dados da velocidade do vento.

A tabela 9 resume a distribuição do período temporal da amostra de dados pelos vários grupos de tipos de tempo e, dentro destes, por estações do ano.

Pode verificar-se que, no período temporal analisado, os tipos de tempo mais frequentes na cidade de Lisboa corresponderam a dias chuvosos (tendo em conta a excecionalidade da precipitação registada no presente ano, sobretudo no mês de março), dias com forte nebulosidade e vento fraco e dias com forte nebulosidade e vento moderado a forte (tipo de tempo 3), seguidos dos dias sem ou com poucas nuvens e vento fraco (tipo de tempo 1), portanto, mais propícios ao desenvolvimento de intensas PCI e, por fim, dias com fraca nebulosidade mas ventosos (tipo de tempo 2).

4.4.1.2. Análise estatística dos dados climáticos observados

Com todos os dados dos instrumentos fixos recolhidos e a classificação em tipos de tempo procedeu-se à sua análise estatística.

Tabela 9 - Distribuição dos dias por grupos de tipos de tempo em Lisboa (2018)

Dias	Grupo 1			Grupo 2			Grupo 3		
	Inv.	Prima.	Ver.	Inv.	Prima.	Ver.	Inv.	Prima.	Ver.
	7/2; 14/2; 19/2; 20/2; 23/2; 24/2	19/4; 22/4; 23/4; 26/4; 1/5; 2/5; 4 a 6/5; 15/5 a 17/5; 20/5; 26/5; 30/5; 4/6; 18/6; 19/6;	22/6 a 24/6; 28/6; 4/7; 5/7;14/ 7;18/7	5/2	26/3; 24/4; 25/4; 10/5; 14/6; 17/6	17/7	3/2; 4/2; 6/2; 8/2 a 13/2; 15/2 a 17/2; 25/2 a 19/3	20/3; 22/3 a 24/3; 25/3; 27/3 a 17/4; 20/4; 21/4; 27/4 a 30/4; 3/5; 7/5 a 9/5; 11/5 a 14/5; 18/5; 19/5; 21/5 a 25/5; 27/5 a 29/5; 31/5 a 3/6; 5/6 a 13/6; 15/6 a 16/6; 20/6; 21/6	25/6 a 27/6; 29/6 a 3/7; 6/7 a 13/7; 15/7 a 16/7; 19/7 a 27/7
Soma	6 dias (20%)	18 dias (60%)	8 dias (26,7%)	1 dia (12,5%)	6 dias (75%)	1 dia (12,5%)	35 dias (26,5%)	70 dias (53%)	27 dias (20,5%)
	30 dias (17,1%)			8 dias (4,6%)			132 dias (75,4%)		
Total: 175 dias (entre 3/02/2018 e 27/07/2018); 5 dias sem dados									

É de relembrar que todos os dados de humidade relativa das estações fixas de ambos os jardins foram excluídos à partida, uma vez que a sua quase totalidade corresponde a medições erradas dos próprios instrumentos, sobretudo no período noturno, devido ao problema identificado no ponto 4.3.2.

Relativamente à temperatura do ar, numa primeira fase, os registos diários foram separados por tipos de tempo, sendo que toda a sua análise estatística se procedeu com base nesta divisão e para cada hora do dia foram calculadas as temperaturas médias de todos os dias de cada tipo de tempo.

De forma a analisar a influência do jardim da Gulbenkian (espaço verde com o maior número de instrumentos fixos instalados no seu interior e nos arredores) nas condições térmicas a sul e a leste, foram elaborados dois perfis de temperatura (fig. 21), um perfil N-S e outro O-E. Relativamente ao primeiro, escolheram-se os seguintes aparelhos na ordem apresentada: N (E) – NE (I) – P (I) – S I (E) – S II (E), sendo que as respetivas designações encontram-se descritas e

especializadas anteriormente, na tabela 4 e na figura 14. No que concerne ao segundo perfil, optou-se pelos seguintes instrumentos, mais uma vez, na ordem apresentada: P (I) – A I (E) – A II (E) – A III (E) – A IV (E).

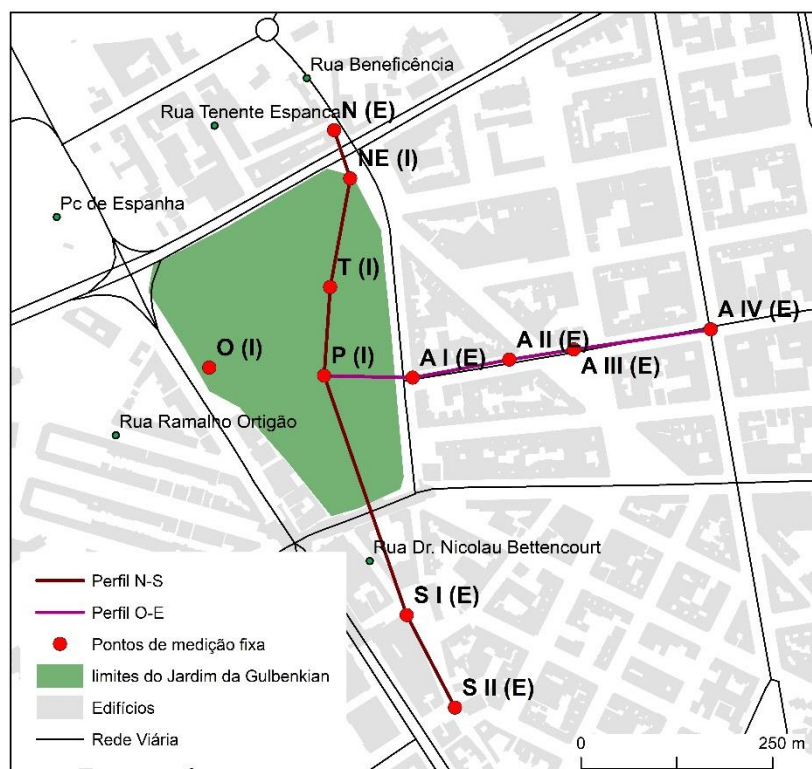


Figura 21 - Perfis de temperatura no Jardim da Gulbenkian. Fonte: Geodados, CML (informação sobre os espaços verdes, edificado e rede viária)

Estes perfis foram igualmente analisados por tipos de tempo, do seguinte modo: para cada tipo de tempo foram selecionadas a(s) hora(s) do dia com a maior PCI, cuja definição e método de cálculo são clarificados imediatamente abaixo, e foi calculada a média das temperaturas nesses momentos para cada local:

- Quanto ao grupo 1, a maior intensidade da PCI (10,2°C) ocorreu durante a madrugada e o início da manhã (às 5:00h, às 6:00h e às 8:00h) e;
- Nos grupos 2 e 3 a PCI mais intensa (8,1°C e 11,6°C respetivamente) ocorreu em apenas uma hora do dia (durante a tarde), às 18h no grupo 2 e às 17:00h no grupo 3.

De modo a analisar a variação das temperaturas num único momento do dia, selecionou-se a hora com a maior PCI registada neste jardim (11,6°C), neste caso as 17:00h, e foram construídos os mesmos dois perfis anteriores, mas apenas com as temperaturas médias dessa hora em todos os pontos.

Cálculo da Ilha de Frescura (PCI)

O efeito de arrefecimento de um determinado espaço verde na sua área envolvente pode ser calculado a partir de um indicador introduzido, pela primeira vez, por Spronken-smith & Oke, (1999), apelidado pelos autores *Park Cool Island* (PCI), mas já calculado anteriormente. Pouco depois da sua primeira apresentação, Andrade (2003) traduziu-o por “Ilha de Frescura de Parque” (IFP). Este corresponde à diferença de temperatura (do ar ou superficial) entre um espaço verde urbano e a periferia construída (Akbari & Kolokotsa, 2016; Chow *et al.*, 2010; Spronken-smith & Oke, 1999), tal como se observa na expressão 3:

$$PCI = T_u - T_p \quad (3)$$

Em que:

PCI corresponde à magnitude da ilha de frescura, em °C;

T_u diz respeito à temperatura (urbano) na área construída envolvente ao espaço verde (parque), em °C e;

T_p corresponde à temperatura dentro do espaço verde, em °C.

Este parâmetro encontra-se fortemente dependente do tipo de espaço verde e das suas características, como a sua dimensão, composição, estrutura e densidade do coberto vegetal, bem como das características das áreas envolventes (nomeadamente o contexto topográfico e a morfologia urbana) e das condições climáticas locais e regionais (Chow *et al.*, 2010; Doick & Hutchings, 2013; Ren *et al.*, 2013; Shashua-Bar & Hoffman, 2000; Shashua-Bar *et al.*, 2009; Spronken-smith & Oke, 1999).

No presente trabalho, optou-se por calcular a PCI para cada hora do dia em ambos os jardins Fernando Pessa e da Gulbenkian. Relativamente ao primeiro, a escolha dos instrumentos para a operação não colocou dúvidas, tendo sido feita a diferença entre a temperatura no exterior e a temperatura no interior do espaço verde. No que toca ao jardim da Gulbenkian, foi necessário escolher o instrumento dentro do jardim e o instrumento no seu exterior para se determinar a influência deste espaço na área envolvente. Tanto dentro como fora, preferiu-se o local com a temperatura mais baixa e a mais elevada, respetivamente, em cada hora do dia. Para o cálculo da PCI utilizaram-se as temperaturas horárias efetivamente registadas e não as médias horárias.

Em seguida os dados da temperatura média horária e da PCI horária de ambos os jardins foram analisados de dois modos distintos: por estações do ano e por período diurno e noturno. Quanto ao primeiro, existem dados para três das quatro estações, nomeadamente o inverno (dados disponíveis de 03/02/2018 a 19/03/2018), a primavera (dados de 20/03/2018 a 21/06/2018) e o verão (dados de 22/06/2018 a 27/7/2018). A divisão dos dias por tipos de tempo e por estações no ano encontra-se na tabela 9.

No que toca aos períodos diurno e noturno, a divisão considerada teve por base o estudo Andrade & Vieira (2005, 2007): relativamente ao período diurno, até dia 24/03, considerou-se o período das 10:00h às 17:00h, correspondente ao horário de inverno e, a partir de dia 25/03,

das 9h às 18h, correspondente ao horário de verão; por sua vez, quanto ao período noturno, para o horário de inverno considerou-se o período entre as 21:00h e as 7:00h e, para o horário de verão, o intervalo das 23:00h às 5:00h. Ainda, acerca das condições noturnas e, uma vez que cada intervalo abarca dois dias distintos, no procedimento para a classificação dos tipos de tempo considerou-se como fazendo parte de cada grupo o dia em que o período começa e não o dia com mais horas pertencentes a um dado grupo.

4.4.1.3. Medições itinerantes de parâmetros climáticos

4.4.1.3.1. Correção e análise dos dados

A validação dos dados climáticos provenientes de medições móveis pode ser efetuada a partir dois procedimentos distintos:

- De forma a detetar diferenças que decorram de aumentos ou diminuições dos parâmetros climáticos, consideradas normais, durante o dia, em cada um dos percursos realizados torna-se necessário voltar ao ponto inicial e efetuar novamente as mesmas medições, de modo a ajustar a série de dados. Este ajuste baseia-se na subtração dos valores medidos em cada ponto, proporcionalmente, à variação temporal desse mesmo parâmetro climático. Utilizando este método de validação dos dados, normalmente aplicado à temperatura do ar e humidade relativa, recomenda-se que os percursos tenham uma duração inferior a uma hora.
- O outro procedimento de validação consiste na comparação dos dados recolhidos com uma estação de referência ou num ponto fixo no mesmo momento em que são registados os dados nos pontos itinerantes.

No presente estudo, utilizou-se o segundo método de correção, embora se tivesse optado, em cada percurso, por regressar ao ponto inicial e recolher novamente os mesmos dados por forma a analisar a variação dos elementos climáticos ao longo do tempo do percurso.

Para o ajustamento, foi calculada a diferença entre cada um dos valores de temperatura do ar e humidade relativa observados em todos os pontos itinerantes e os mesmos registados, à mesma hora, na estação de referência (IGOT).

Os resultados obtidos correspondem a diferenças (Δ) de temperatura do ar e humidade relativa e foram sistematizados em gráficos com o comportamento de ambas as variáveis climáticas em cada um dos itinerários no interior e na envolvente do Jardim da Gulbenkian e nas ruas arborizadas e não arborizadas. Com base nestes dados calculou-se a média da temperatura do ar e da humidade relativa para cada um dos pontos de cada percurso, tendo esta sido representada igualmente em gráficos. Ao mesmo tempo, as anomalias da temperatura do ar serviram como base para a interpolação das temperaturas no interior e nos arredores de um espaço verde. Relativamente ao vento, os dados recolhidos não sofreram as correções descritas anteriormente, tendo apenas servido de base à análise dos padrões termo-higrométricos encontrados.

4.4.2. Estimação da biomassa na cidade de Lisboa

4.4.2.1. Caraterização da vegetação no interior e exterior do Jardim da Gulbenkian

De modo a clarificar os contrastes entre a massa verde no interior de um espaço verde e na área construída envolvente, recorreu-se ao NDVI e analisou-se as diferenças entre o seu valor no interior de um jardim e numa área com grande densidade de construção, nos arredores, tendo-se recorrido ao jardim da Fundação Calouste Gulbenkian como exemplo. Para tal, foram utilizadas imagens provenientes do satélite *Landsat 8*. Esta análise foi feita com base na diferença entre dois pixéis, um dentro do jardim e outro na sua envolvente, que se encontram identificados na figura 22.

Relativamente aos critérios de seleção destas células, no interior do jardim procurou-se um pixel com diferentes tipos de espécies (herbáceas, arbustivas e arbóreas), evitando-se a presença de superfícies impermeabilizadas (edifícios ou outras). Já no exterior, selecionou-se uma célula que abrange o Bairro do Rego, a norte do jardim, com grande densidade de construção, composta por edifícios com muitos pisos e vegetação escassa, de modo a que os contrastes fossem significativos.

O passo seguinte consistiu, no caso das imagens do *Landsat 8*, no cálculo do NDVI para cada uma destas células, processo descrito anteriormente. Por fim, determinou-se a diferença entre o NDVI da célula no interior do jardim e o NDVI da célula na área envolvente.

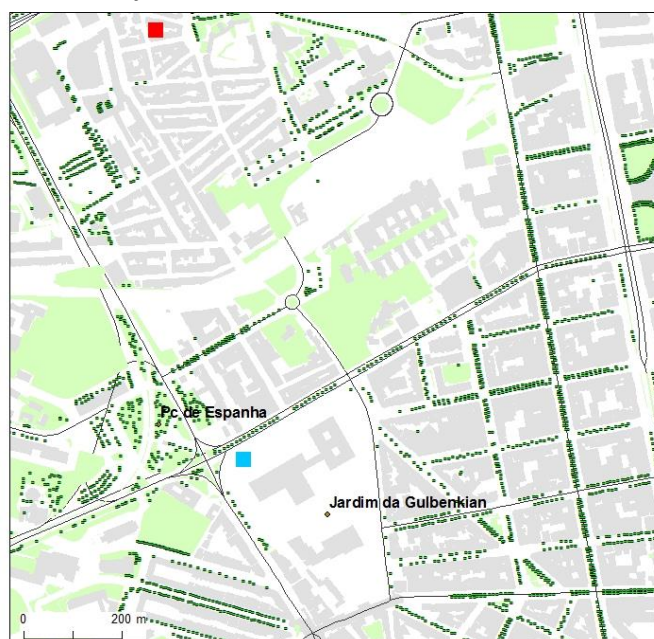


Figura 22 - Células escolhidas para a caraterização da vegetação (*Landsat 8*). Fonte: Geodados, CML (informação sobre os espaços verdes, arvoredo, edificado e rede viária). Nota: a célula a azul corresponde ao pixel escolhido no interior do jardim e a célula a vermelho ao pixel escolhido no exterior (Bairro do Rego).

Com estes dados foram construídos quatro gráficos para avaliar a evolução do comportamento do NDVI ao longo dos últimos anos, a sua variação mensal e a correlação entre a biomassa da mesma área. Quanto aos gráficos da evolução temporal do NDVI e biomassa (figuras 26 e 29) utilizaram-se todas as imagens do *Landsat 8* disponíveis. Relativamente aos gráficos da variação

mensal da vegetação (NDVI e NDVI e biomassa- figuras 27 e 28) foi calculada a média ponderada destes indicadores para cada mês tendo em conta os dados disponíveis, à exceção do mês de janeiro, em que não existe nenhuma imagem com cobertura nebulosa sob a cidade de Lisboa suficientemente baixa para ser considerada neste estudo. É de realçar que, no caso da biomassa, utilizou-se a média de três dos quatro modelos testados (Chang & Shoshany, 2016; Filella et al., 2004; Pereira et al., 1995), deixando-se de parte o modelo de Calvão & Palmeirim (2004).

4.4.2.2. Modelos de biomassa testados

A determinação da massa verde da capital portuguesa resumiu-se a uma pesquisa de modelos baseados em produtos da deteção remota que já tenham sido aplicados em áreas com alguma proximidade climática à área de estudo, recorram a equações relativamente simples e que utilizem índices de vegetação como o NDVI, testados previamente e validados para este tipo de aplicações. Neste sentido, podem ser citados alguns exemplos de modelos aplicáveis à cidade de Lisboa: Muñoz et al. (2010), aplicado em Michigan, EUA; Garrouette et al. (2016), testado no Parque Nacional Yellowstone, EUA; Chang & Shoshany (2016), testado em três zonas de transição climática que representam os vários ambientes climáticos mediterrânicos; Filella et al. (2004); González-Alonso et al. (2006), Lumbierres et al. (2017), e Shoshany & Karnibad (2011), todos aplicados em Espanha e, ainda, Calvão & Palmeirim (2004), e Pereira et al. (1995), aplicados em Portugal.

De todos os modelos referidos, na presente investigação selecionaram-se apenas quatro, por serem os mais fiáveis, simples e rápidos de testar (Calvão & Palmeirim, 2004; Filella et al., 2004; Pereira et al., 1995, e Chang & Shoshany, 2016). O modelo de Pereira et al. (1995) foi aplicado na estimação da biomassa no Parque Natural da Serra d'Aire e Candeeiros a partir de imagens do *Landsat* 5. Já Calvão e Palmeirim (2004), testaram um modelo para a estimação da biomassa dos arbustos *Cistus* no sudoeste de Portugal (Mértola), a partir de imagens do *Landsat*. Por outro lado, Filella et al. (2004) aplicaram um modelo empírico aos matagais, no nordeste de Espanha (clima mediterrâneo típico). Por fim, Chang & Shoshany (2016) apresentam um modelo para estimação da biomassa dos matagais mediterrâneos a partir da fusão de imagens *Sentinel-1* e *Sentinel-2*. As equações testadas por cada um destes estudos encontram-se sintetizadas na tabela 10.

Para a aplicação dos modelos neste estudo, foram selecionadas duas imagens de satélite, representativas da situação de verão e de inverno, respetivamente. A escolha baseou-se no comportamento mensal do NDVI, ilustrado no gráfico da figura 23.

Tabela 10 - Modelos de biomassa testados

Fonte	Equação
Pereira et al., 1995	Biomassa (ton/ha) = $-2,923 + 21,486 * NDVI$
Calvão & Palmeirim, 2004	Biomassa (kg/ha) = $54811x - 14588$
Filella et al., 2004	Biomassa (Kg/m ²) = $0,856 (NDVI) + 0,183$
Chang & Shoshany, 2016	Biomassa (kg/m ²) = $0,148 + 1,735 * NDVI$

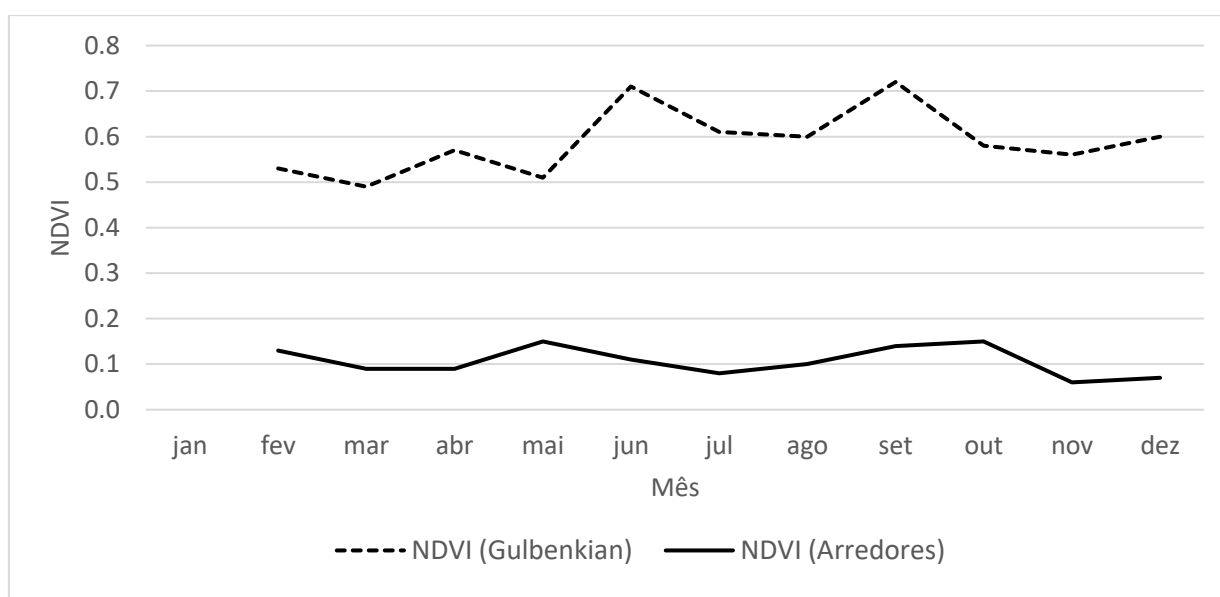


Figura 23 - Variação mensal do NDVI no interior e nos arredores do Jardim da Gulbenkian a partir de imagens do satélite *Landsat 8*, entre 2013 e 2017. Nota: não existem imagens para o mês de janeiro.

Em relação ao período mais frio do ano, selecionou-se uma imagem de fevereiro (05/02/2018), uma vez que este é um dos meses com um dos valores mais baixos de NDVI no interior do jardim. No que concerne o período mais quente, optou-se por uma imagem de julho (17/07/2017), por ser um dos meses de verão com um dos valores mais elevados de NDVI dentro do jardim. Seguem-se nas figuras 24 e 25 ambas as imagens de satélite utilizadas.

Para a determinação da massa verde da cidade, foram excluídos, em ambas as situações de verão e inverno, os valores de NDVI inferiores a 0,15, sendo este limiar representativo das áreas verdes de Lisboa, segundo Andrade & Lopes (1998).

De seguida, foram aplicados os quatro modelos de biomassa referidos anteriormente em ambiente SIG (*ArcGis* – versão 10.5.1.). Deve notar-se que as suas unidades de medida diferem, pelo que se procedeu, posteriormente, à conversão dos resultados para uma unidade de medida comum (kg/m²). Calculou-se, ainda, a biomassa média de três dos quatro modelos testados (Filella et al., 2004; Pereira et al., 1995, e Chang & Shoshany, 2016), tanto para a situação de verão, como para a de inverno. Os resultados obtidos e respetiva discussão encontram-se nos pontos 5.1.2. e 6.1.

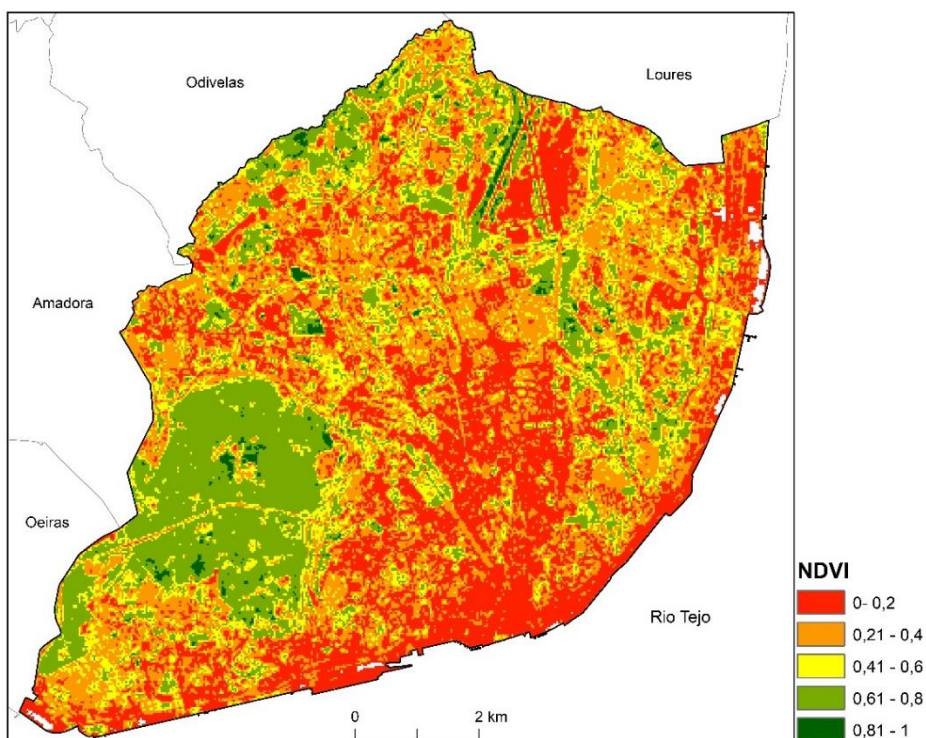


Figura 24 - NDVI na cidade de Lisboa - situação representativa de inverno (05/02/2016). Fontes: imagem *Landsat* 8 (Land Viewer - <https://eos.com/landviewer/>); CAOP 2011, DGT (limites administrativos)

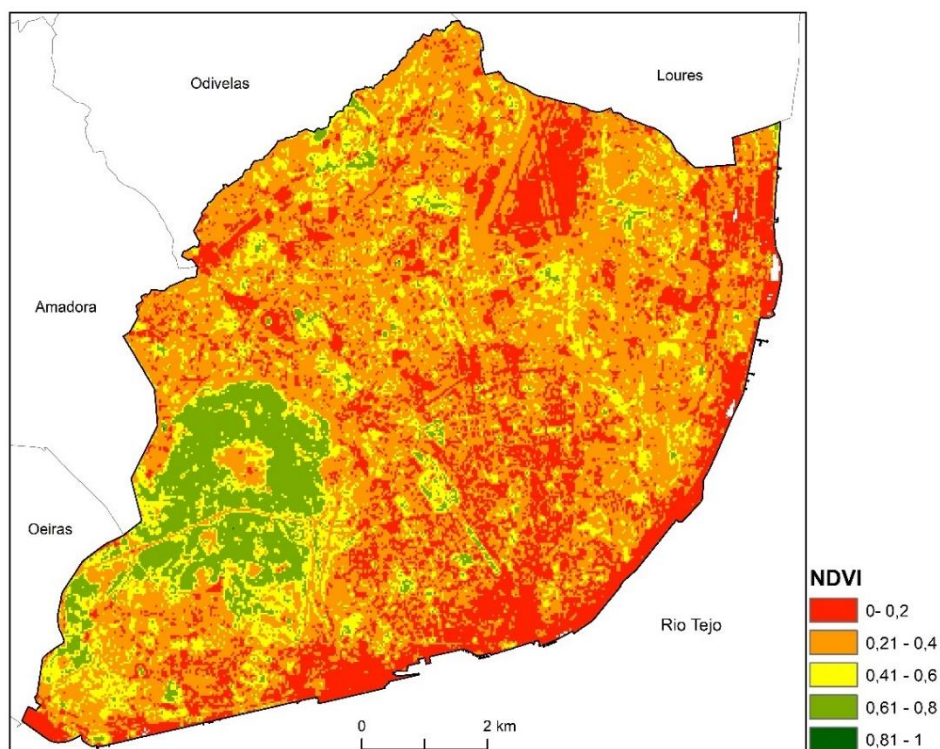


Figura 25 - NDVI na cidade de Lisboa - situação representativa de verão (17/07/2017). Fontes: imagem *Landsat* 8 (Land Viewer - <https://eos.com/landviewer/>); CAOP 2011, DGT (limites administrativos)

4.4.4. Espacialização do comportamento térmico dos espaços verdes

4.4.4.1. *Interpolação das temperaturas no interior e no exterior de um espaço verde*

Para uma caracterização mais aprofundada do comportamento térmico dos jardins-amostra e da sua envolvente em condições meteorológicas distintas procedeu-se à interpolação das temperaturas na envolvente do Jardim da Gulbenkian. Neste procedimento foram utilizados apenas dados provenientes das medições itinerantes, pelas seguintes motivos: por um lado o número de pontos itinerantes dentro e fora do jardim é muito superior ao número de instrumentos fixos instalados; por outro lado, em todos os locais com aparelhos fixos foram efetuadas medições móveis e, ainda, tentou evitar-se problemas de uniformização de dados. Por motivos de tempo, não foi possível a realização de medições itinerantes no Jardim Fernando Pessa, pelo que o reduzido número de aparelhos fixos (2) instalados no seu interior e na envolvente não justifica a tentativa de espacialização da sua performance térmica.

Sendo assim, para cada tipo de tempo considerado anteriormente, foi selecionado um dia em que tivessem sido efetuadas medições itinerantes. Quanto ao tipo 2, a escolha foi facilitada visto que apenas se realizaram medições num único dia com estas condições meteorológicas (24/04/2018). Relativamente aos tipos de tempo 1 e 3, optou-se pelo dia com a maior intensidade da PCI (20/05/2018 e 09/07/2018, respetivamente).

Os dados provenientes destas medições foram previamente corrigidos recorrendo ao mesmo método utilizado para a sua análise estatística, uma vez que, em cada dia, cada percurso foi feito em momentos temporais ligeiramente distintos.

De seguida, procedeu-se à sua espacialização e interpolação em ambiente SIG, recorrendo-se, novamente, ao software *ArcGis*. Para cada dia, foi criado um ficheiro de pontos correspondentes aos locais das medições itinerantes e foram introduzidos os dados de temperatura já corrigidos. Para a interpolação utilizou-se um método geoestatístico de *Krigagem*, que se baseia no princípio de que os pontos relativamente próximos no espaço tendem a comportar-se de forma mais próxima do que os pontos mais afastados, que se encontram menos correlacionados no espaço.

A cartografia final para cada tipo de tempo é apresentada no ponto 5.3.1.

4.4.4.2. Estimação do potencial de arrefecimento dos espaços verdes

Tendo como objetivo averiguar que fatores intrínsecos e extrínsecos aos espaços verdes determinam o seu potencial de arrefecimento, inicialmente, tentou construir-se um modelo de regressão linear múltipla que permitisse determinar este potencial para o conjunto dos espaços verdes da cidade considerados neste estudo, tendo sido apenas testado no jardim da Gulbenkian. A correlação múltipla permite determinar a relação de uma única variável (dependente), neste caso a temperatura do ar, com as restantes variáveis independentes, as características dos espaços verdes e da área construída envolvente.

Num primeiro momento, foram tidos em conta todos os elementos testados em estudos anteriores e já referidos anteriormente, a enumerar:

- Relativamente aos fatores externos, foram considerados os seguintes:
 - SVF;
 - Variáveis climáticas como a humidade relativa e a velocidade do vento;
 - Altitude do local de medição;
 - Altura média dos edifícios envolventes;
 - Distância do ponto de medição ao espaço verde;
 - Uso do solo;
 - Sazonalidade;
 - Momento do dia em que foram efetuadas as medições e;
 - Distância máxima de arrefecimento do jardim em causa.
- Quanto aos fatores intrínsecos, foram considerados os seguintes:
 - Configuração do espaço verde;
 - Dimensão;
 - Perímetro;
 - Índices de forma do jardim como o LSI/SI (*Landscape Shape Index/ Shape Index*);
 - Percentagem de área coberta por vegetação, pavimentos e corpos de água;
 - Percentagem de espécies arbóreas, arbustivas e herbáceas;
 - Índices de vegetação e a irrigação do jardim.
- Para além destes, foram considerados outros elementos ainda não referidos e investigados na bibliografia analisada, a saber:
 - Razão H/W;
 - IV;
 - Z0 e;
 - Biomassa.

De todos foram selecionados os seguintes fatores: o SVF, a razão H/W, o Z0, o IV (Correia et al., 2015), a altura média dos edifícios envolventes (Geodados – Plataforma de Dados Abertos e Georreferenciados), a altitude do ponto de medição (MDT AML- ALOS Global Digital Surface Model "ALOS World 3D - 30m (AW3D30)" - Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)), a distância do ponto de medição ao jardim e a biomassa (utilizada a situação média, referente aos modelos de Chang & Shoshany (2016), Filella et al. (2004) e Pereira et al. (1995) no período de verão).

Em termos práticos, foi selecionada uma hora de um dia do tipo de tempo 1, por ser o grupo onde se espera um maior efeito de arrefecimento proporcionado pelo espaço verde, com uma intensidade PCI relativamente elevada, neste caso o dia 06/05/2018, às 9h da manhã (PCI = 7,5°C), tendo sido utilizados os valores absolutos desse momento do dia e não a temperatura média de todos os dias do tipo de tempo 1 para essa hora.

De seguida, foram verificadas as correlações entre todas as variáveis independentes ou preditivas, ou seja, todas as características intrínsecas e extrínsecas aos espaços verdes consideradas para a correlação múltipla, de modo a evitar problemas de multicolinearidade derivados de correlações fortes a muito fortes entre duas variáveis (iguais ou superiores a 0,8).

Após esta análise preliminar das variáveis a integrar no modelo, de onde se deixou de parte o Z0 e a altitude do ponto de medição, para cada local no interior e no exterior do Jardim da

Gulbenkian, foram inseridos os dados de temperatura do ar (variável dependente/ a estimar) e dos fatores (variáveis independentes ou preditivas) no software *Statistica*. Numa segunda tentativa, foram utilizados os dados de temperatura do ar de todas as horas do mesmo dia considerado (06/05/2018).

Uma vez que os resultados obtidos não foram estatisticamente significativos, decidiu construir-se um modelo mais simples, baseado na influência que a vegetação poderá ter no comportamento das temperaturas atmosféricas. Para tal, foi considerada a cartografia das temperaturas interpoladas no interior e na envolvente do jardim da Gulbenkian, para uma situação típica do tipo de tempo 1, e um mapa com a distância entre núcleos de vegetação, tendo este sido produzido a partir das cartografias da biomassa, uma vez que a correlação entre esta e as diferenças de temperatura não é estatisticamente significativa.

O mapa com a densidade da vegetação foi elaborado recorrendo ao software *ArcGis*: ambas as cartografias da biomassa média (modelos de Chang & Shoshany, 2016, Filella et al., 2004, e Pereira et al., 1995) para a situação de inverno e de verão foram convertidas para o formato vetorial. De seguida, calculou-se a distância de Kernel para ambas as estações do ano, que estima a magnitude da massa verde por área. Por fim, ambos os mapas obtidos foram recortados pelo mapa das temperaturas.

Foram gerados dois modelos de regressão linear distintos (condição da vegetação no inverno e no verão), tendo sido previamente verificadas as correlações entre as variáveis, cujas matrizes de correlação, bem como as equações geradas se apresentam e descrevem na seção dos resultados (ponto 5.3.2.).

5. Resultados

5.1. A vegetação e os espaços verdes lisboetas

5.1.1. Caracterização da vegetação no interior e na envolvente de um espaço verde

Por forma a analisar com mais detalhe o comportamento da vegetação no interior de um jardim (Fundação Calouste Gulbenkian), nos últimos anos e os contrastes com a área construída envolvente, apresenta-se um gráfico (fig. 26), referente período de 2013 a 2017.

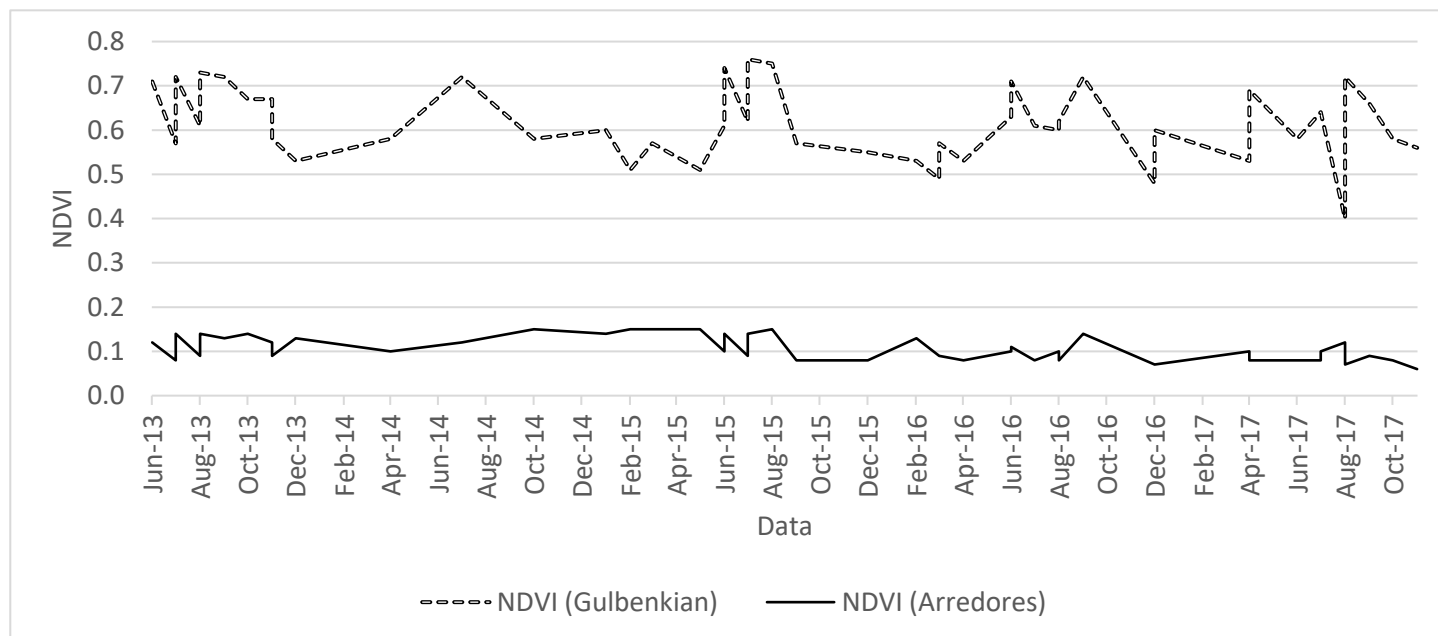


Figura 26 - Comportamento do NDVI no interior e nos arredores do Jardim da Gulbenkian, entre 2013 e 2017 (imagens Landsat 8)

Tal como se pode verificar, a amplitude de variação do NDVI no interior do jardim (quase atingindo os 0,4) é consideravelmente superior à amplitude de variação do mesmo indicador na área construída e estas oscilações parecem ter incrementado nos últimos dois anos. Dentro do jardim, observa-se que o NDVI apresenta valores mais reduzidos sensivelmente nos meses de inverno, voltando a subir nos meses mais quentes do ano, quando a vegetação está mais pungente. Pelo contrário, este contraste não se verifica no exterior do jardim, sendo que o NDVI tem-se mantido relativamente baixo nos anos considerados.

As variações intranuais do NDVI no interior do espaço verde são mais notáveis no gráfico da figura 27, relativo ao comportamento mensal deste indicador em ambas as áreas.

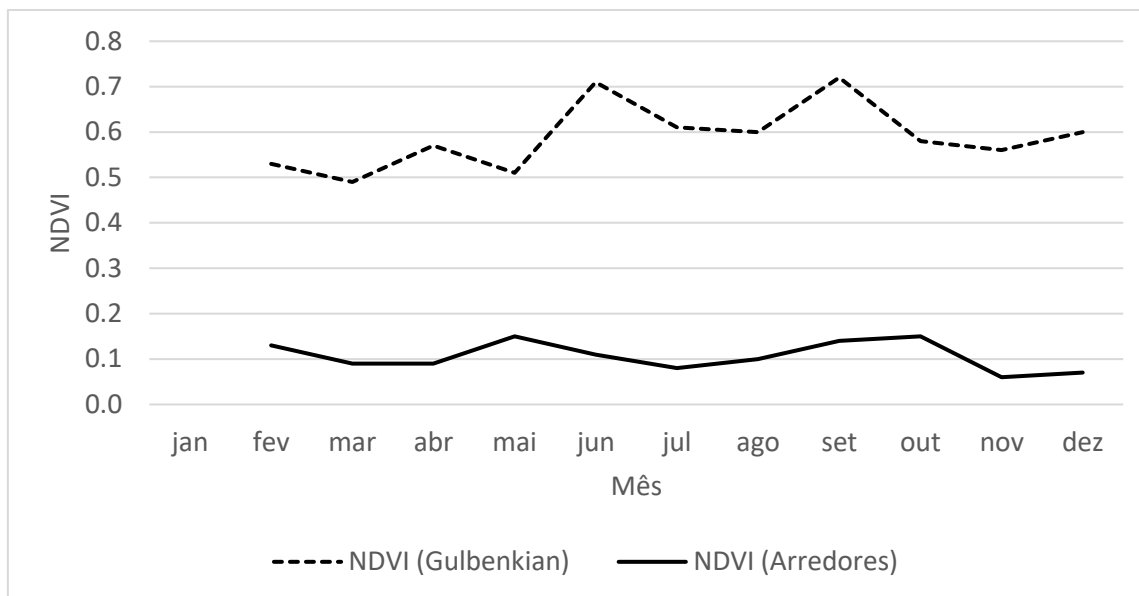


Figura 27 - Variação mensal do NDVI no interior e nos arredores do Jardim da Gulbenkian, a partir de imagens do satélite *Landsat 8*, entre 2013 e 2017

Observa-se, portanto, que nos meses de junho a setembro, embora com algumas oscilações, o NDVI dentro do jardim é consideravelmente maior do que na estação mais fria do ano, entre outubro e maio. Ainda assim, os seus valores nunca se encontram abaixo de 0,5. Em contraste, nos arredores deste espaço verde o NDVI mantém-se, mais uma vez, relativamente baixo, com dois pequenos picos nos meses de maio e outubro, mas nunca atingindo 0,2.

Tentando estabelecer uma relação entre este indicador da vegetação e a biomassa no interior do jardim, (fig. 28), verifica-se que ambos têm um comportamento relativamente semelhante, sendo mais elevados durante os meses de verão e diminuindo ligeiramente nos meses de inverno.

Também a evolução temporal de ambos os indicadores da vegetação apresenta muitas semelhanças (fig. 29), demonstrando a forte correlação entre si.

De facto, a espacialização da biomassa neste espaço verde acompanha especialmente todas as oscilações do NDVI nos últimos anos.

5.1.2. Estimação da biomassa da cidade de Lisboa

Neste ponto apresentam-se as cartografias da massa verde estimada para os quatro modelos, em ambos os períodos mais quente e mais frio do ano.

Em primeiro lugar, é possível verificar, a partir das figuras 30 e 31, que de acordo com todos os modelos testados, a quantidade de massa verde existente na cidade é maior no período de inverno do que no período de verão, ao contrário do que seria de esperar.

Relativamente ao exemplo de inverno (fig. 30), verifica-se que o modelo Calvão & Palmeirim, (2004) produz os valores mais elevados de massa verde, permitindo maiores contrastes entre as áreas densamente vegetadas e os espaços com escassa vegetação ou completamente impermeabilizados e afastando-se consideravelmente dos resultados obtidos nos restantes modelos.

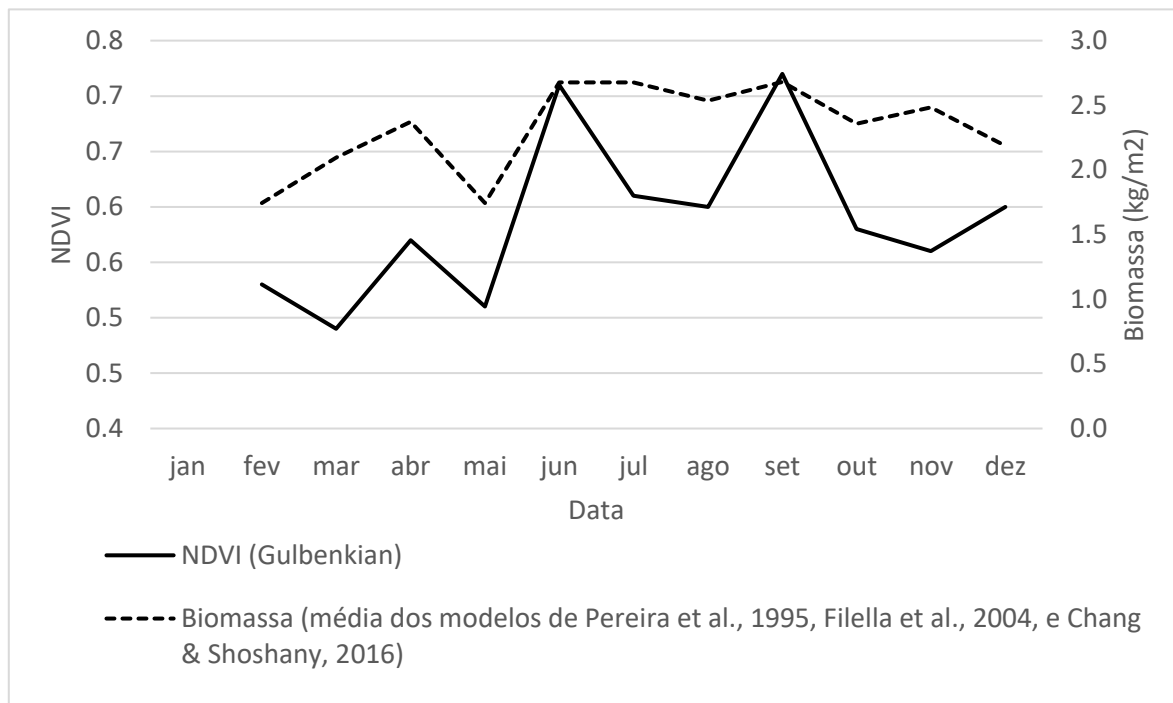


Figura 28 - Variação mensal do NDVI e da biomassa estimada no interior do Jardim da Gulbenkian, a partir de imagens do satélite *Landsat 8*, entre 2013 e 2017

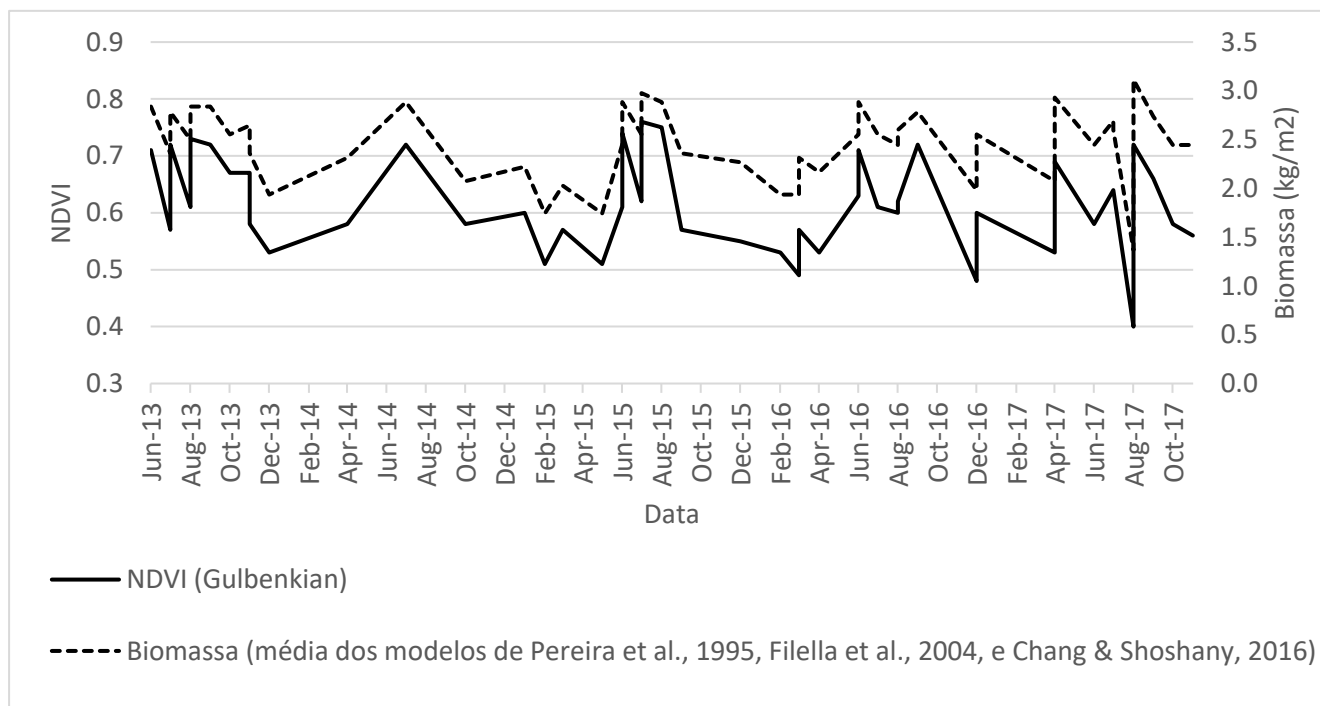


Figura 29 - Comportamento do NDVI e da biomassa estimada no interior do Jardim da Gulbenkian, entre 2013 e 2017 (imagens do *Landsat 8*)

Pelo contrário, o modelo de Filella et al. (2004) gera os valores mais reduzidos de biomassa para o conjunto da cidade. Ainda assim, em todos os modelos é possível distinguir as áreas com maior quantidade de vegetação por volume e, portanto, os espaços verdes existentes.

Por outro lado, na situação ilustrativa da estação mais quente do ano, observável na cartografia da figura 31, verifica-se que o modelo de Calvão & Palmeirim (2004) fornece, mais uma vez os valores mais elevados, de biomassa e o de Filella et al. (2004) os mais reduzidos.

Para uma caracterização mais pormenorizada das diferenças entre os modelos testados, elaborou-se a tabela 11 com algumas medidas estatísticas.

Tabela 11 – Biomassa estimada na cidade de Lisboa: estatísticas descritivas

	Situação ilustrativa de inverno (05/02/2016)				Situação ilustrativa de verão (17/07/2017)			
	Média	Mediana	Desvio-padrão (DP)	Total*	Média	Mediana	Desvio-padrão (DP)	Total*
Filella et al., 2004	0,6 kg/m ²	0,5 kg/m ²	0,2 kg/m ²	10237,5 kg (10,2 ton)	0,5 kg/m ²	0,4 kg/m ²	0,1 kg/m ²	21084,5 kg (21,1 ton)
Pereira et al., 1995	0,7 kg/m ²	0,4 kg/m ²	0,5 kg/m ²	19415,9 kg (19,4 ton)	0,5 kg/m ²	0,3 kg/m ²	0,4 kg/m ²	35914,1 kg (35,9 ton)
Chang & Shoshany, 2016	1 kg/m ²	0,7 kg/m ²	0,4 kg/m ²	47082 kg (47,1 ton)	0,8 kg/m ²	0,6 kg/m ²	0,3 kg/m ²	57486,3 kg (57,5 ton)
Calvão & Palmeirim, 2004	0,8 kg/m ²	0,3 kg/m ²	1,3 kg/m ²	38265,6 kg (38,3 ton)	0,7 kg/m ²	0,1 kg/m ²	0,9 kg/m ²	69485,3 kg (69,5 ton)
Média dos três primeiros modelos	0,7 kg/m ²	0,5 kg/m ²	0,4 kg/m ²	23126,3 kg (23,1 ton)	0,6 kg/m ²	0,5 kg/m ²	0,3 kg/m ²	37366,5 kg (37,4 ton)

Nota (*): para o cálculo da biomassa total em Lisboa apenas foram consideradas as células com biomassa igual ou superior a 0,6kg/m², limiar a partir do qual começa a surgir vegetação, por análise visual.

Tal como se pode observar, os valores médios de biomassa no inverno são ligeiramente superiores aos do verão para todos os modelos testados, embora as diferenças entre ambos períodos do ano sejam mínimas. A mediana da biomassa é sempre inferior ao valor médio, sendo que as maiores diferenças entre estes dois parâmetros se registam no modelo de Calvão e Palmeirim (2004). Ao contrário do que se verifica na espacialização da massa verde, o modelo de Chang e Shoshany (2016) é o que possui a biomassa média mais elevada em ambos os

períodos do ano, ao contrário do modelo de Filella et al. (2004). O desvio-padrão é sempre reduzido em todos os modelos, à exceção do modelo de Calvão e Palmeirim (2004) cuja amplitude de variação de valores é muito superior à dos restantes modelos testados. Pelo facto deste modelo apresentar um resultado muito distanciado dos restantes, optou-se por fazer um ensemble dos modelos de Filella et al. (2004), Pereira et al. (1995) e Chang e Shoshany (2016) representado nas figuras 32 e 33. Este foi utilizado no modelo de regressão linear simples construído para a estimação do potencial de arrefecimento dos espaços verdes.

Para interpretar melhor os resultados obtidos, extraiu-se a biomassa estimada apenas para os espaços verdes da cidade (fonte: CML), cujas estatísticas descritivas se apresentam no quadro 12.

Tabela 12 - Biomassa dos espaços verdes em Lisboa: estatísticas descritivas

	Situação ilustrativa de inverno (05/02/2016)			Situação ilustrativa de verão (17/07/2017)		
	Média	Mediana	Desvio-padrão (DP)	Média	Mediana	Desvio-padrão (DP)
Filella et al., 2004	0,7 kg/m ²	0,7 kg/m ²	0,2 kg/m ²	0,6 kg/m ²	0,6 kg/m ²	0,1 kg/m ²
Pereira et al., 1995	0,9 kg/m ²	1, kg/m ²	0,4 kg/m ²	0,7 kg/m ²	0,6 kg/m ²	0,4 kg/m ²
Chang & Shoshany, 2016	1,1 kg/m ²	1,2 kg/m ²	0,3 kg/m ²	0,9 kg/m ²	0,9 kg/m ²	0,3 kg/m ²
Calvao & Palmeirim, 2004	1,7 kg/m ²	1,9 kg/m ²	1 kg/m ²	1 kg/m ²	0,9 kg/m ²	0,9 kg/m ²
Média dos três primeiros modelos	0,9 kg/m ²	1 kg/m ²	0,3 kg/m ²	0,7 kg/m ²	0,7 kg/m ²	0,3 kg/m ²

Tal como se pode verificar, a massa verde existente apenas em espaços verdes é ligeiramente superior no período de inverno, comparativamente à situação ilustrativa de verão, tal como se verificou a partir da análise da biomassa estimada para a cidade na sua totalidade. No entanto, a mediana dos valores de biomassa é sempre superior ao valor médio em ambas as estações, sendo que as diferenças mais flagrantes se registaram no modelo de Calvão, tal como no desvio-padrão. Se se considerar apenas a biomassa das árvores de arruamento existentes na cidade (tabela 13), verifica-se a situação oposta, isto é, a massa verde das espécies arbóreas é ligeiramente inferior no inverno, embora as diferenças entre ambas as estações sejam mínimas.

Tabela 13 - Biomassa das árvores de arruamento da cidade de Lisboa: estatísticas descritivas

	Situação ilustrativa de inverno (05/02/2016)			Situação ilustrativa de verão (17/07/2017)		
	Média	Mediana	Desvio-padrão (DP)	Média	Mediana	Desvio-padrão (DP)
Filella et al., 2004	0,4 kg/m ²	0,4 kg/m ²	0,1 kg/m ²	0,5 kg/m ²	0,4 kg/m ²	0,1 kg/m ²
Pereira et al., 1995	0,3 kg/m ²	0,3 kg/m ²	0,4 kg/m ²	0,4 kg/m ²	0,4 kg/m ²	0,3 kg/m ²
Chang & Shoshany, 2016	0,7 kg/m ²	0,6 kg/m ²	0,3 kg/m ²	0,7 kg/m ²	0,7 kg/m ²	0,2 kg/m ²
Calvao & Palmeirim, 2004	0,2 kg/m ²	0,1 kg/m ²	0,9 kg/m ²	0,3 kg/m ²	0,2 kg/m ²	0,7 kg/m ²
Média dos três primeiros modelos	0,5 kg/m ²	0,5 kg/m ²	0,3 kg/m ²	0,5 kg/m ²	0,5 kg/m ²	0,2 kg/m ²

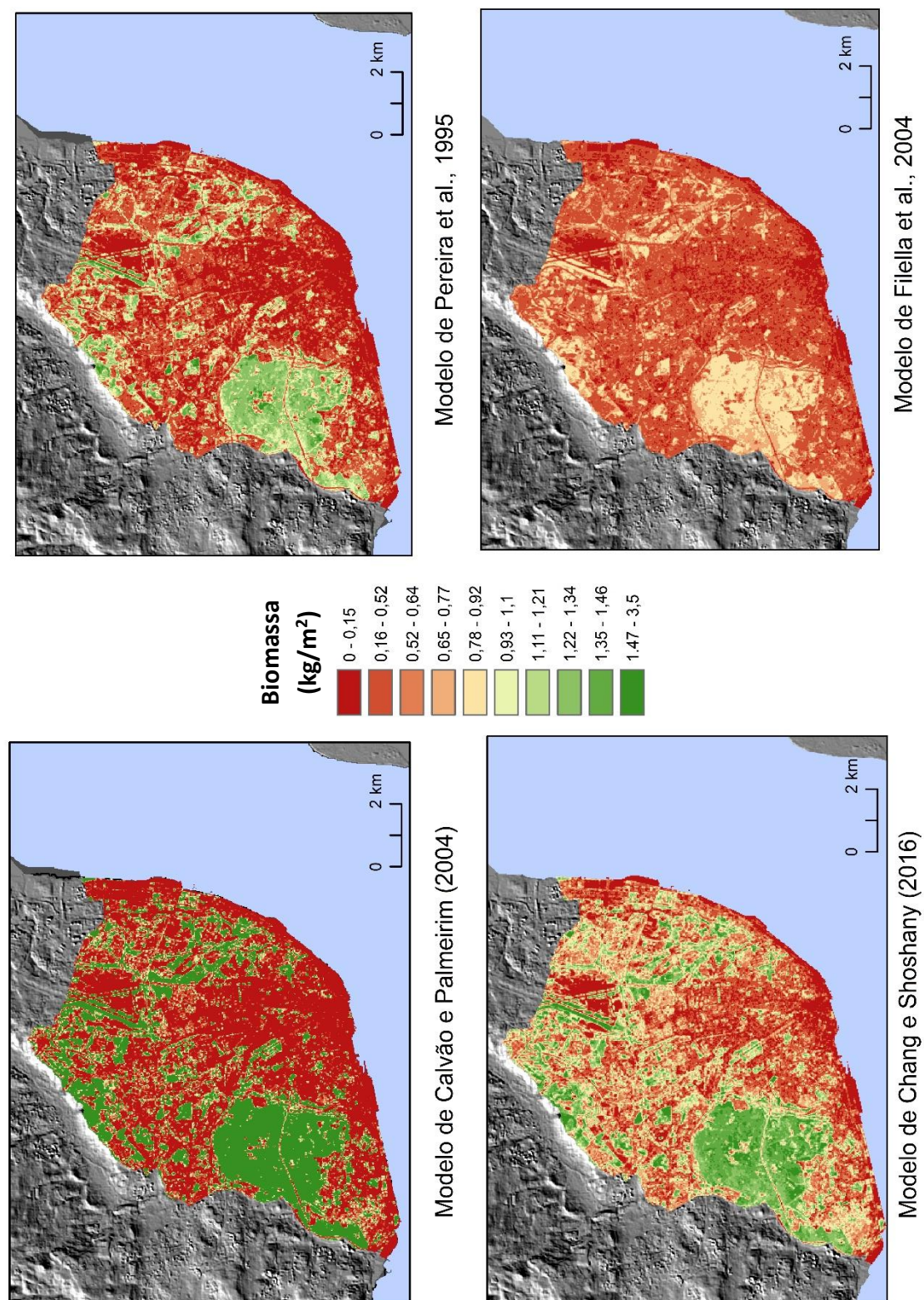


Figura 30 - Biomassa da cidade de Lisboa - situação ilustrativa do período de inverno. Fontes: imagem Landsat 8 (05/02/2016), MDT JAXA (<http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm>)

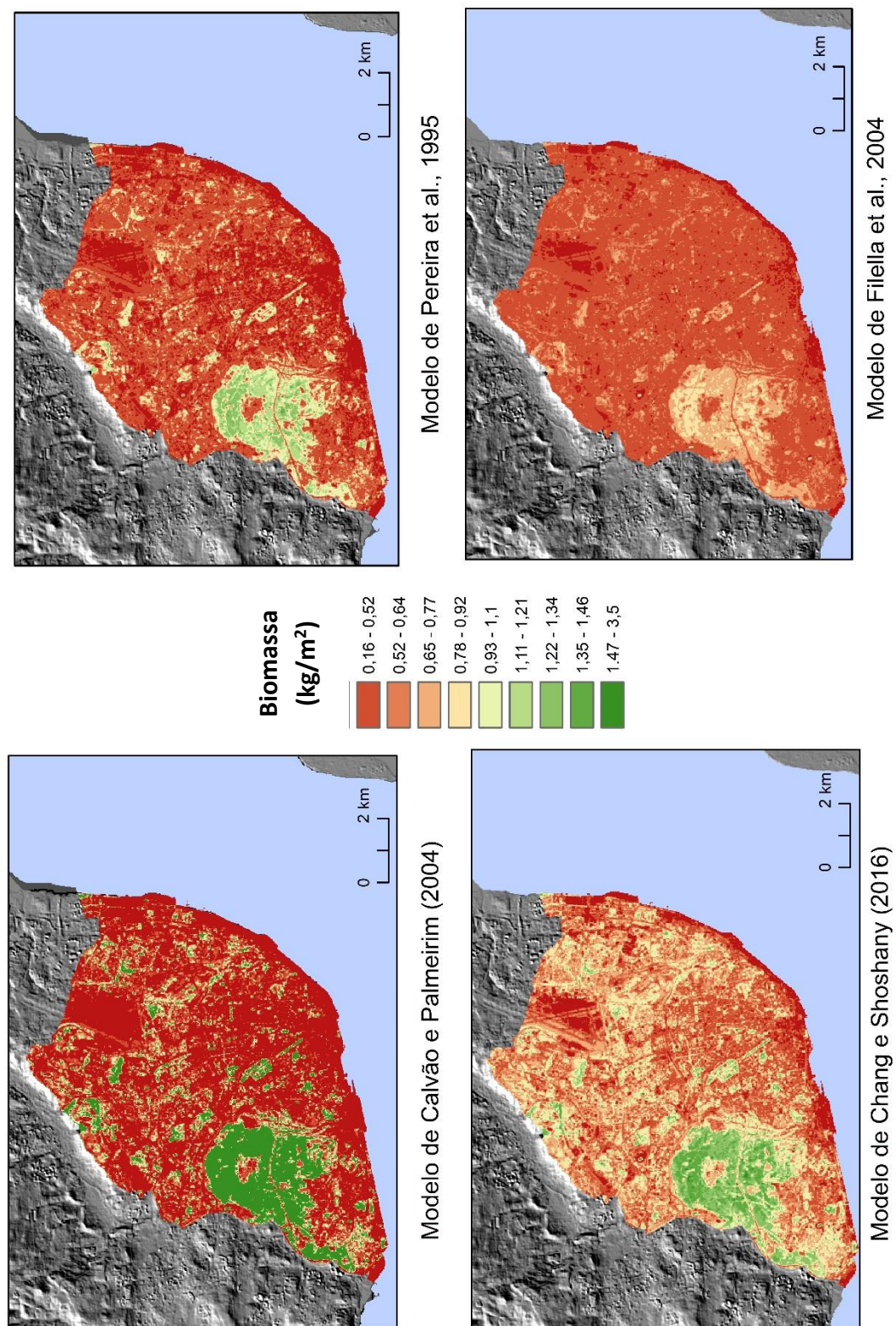


Figura 31 - Biomassa da cidade de Lisboa - situação ilustrativa do período de verão. Fontes: imagem Landsat 8 (17/07/2017), MDT JAXA (<http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm>)

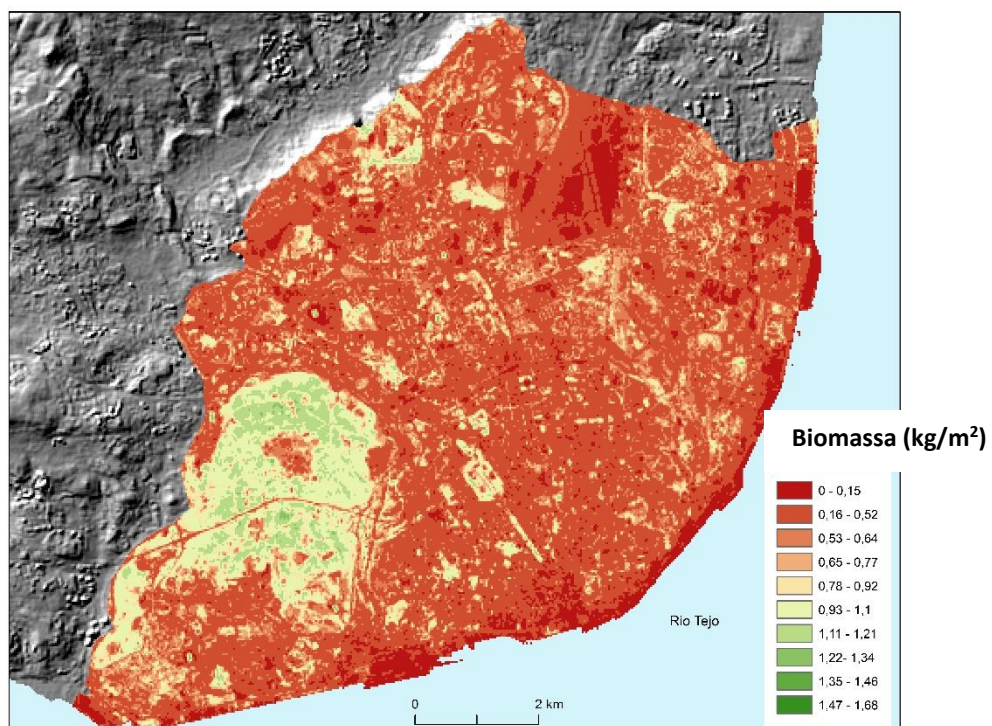


Figura 32 - Biomassa da cidade de Lisboa - situação média de verão. Fonte: imagem *Landsat* 8 (17/07/2017), MDT JAXA (<http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm>)

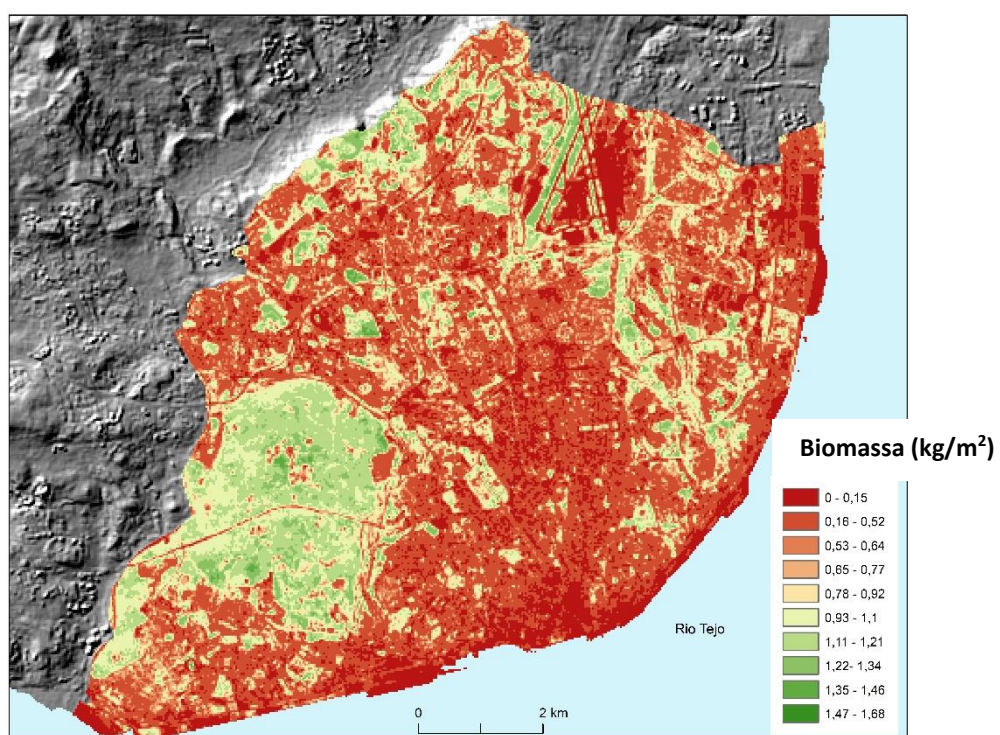


Figura 33 – Biomassa da cidade de Lisboa - situação média de inverno. Fontes: imagem *Landsat* 8 (05/02/2016), MDT JAXA (<http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm>)

5.2. Caraterização do comportamento térmico dos espaços verdes – amostra (pontos fixos)

5.2.1. Análise das temperaturas médias horárias

Para a análise das temperaturas no interior e no exterior dos jardins analisados relembra-se que a amostra de dados correspondeu a 175 dias, sendo que 5 dias não foram analisados. A tabela 14 relembra os tipos de tempo analisados.

Tabela 14 - Descrição dos tipos de tempo em Lisboa analisados entre fevereiro e julho de 2018

Tipo de tempo	Descrição
1	Dias com céu limpo e vento nulo a fraco
2	Dias com céu limpo e vento moderado a forte
3	Dias com nebulosidade moderada a elevada e vento nulo a fraco; Dias com nebulosidade moderada a elevada e vento moderado a forte; Dias chuvosos.

Jardim da Gulbenkian

Relativamente ao Jardim da Gulbenkian, e no que concerne as temperaturas médias horárias (tabela 15), para todos os locais de medição dentro e fora do jardim, em dias do tipo de tempo 1 registaram-se as temperaturas mais elevadas e em dias do tipo de tempo 3 as mais baixas. Em todas as condições meteorológicas, as temperaturas médias foram mais baixas dentro do jardim do que na sua envolvente, à exceção do instrumento instalado no telhado verde, cujas temperaturas são mais elevadas do que alguns locais no exterior do jardim, nomeadamente os pontos 1, 2 e 3 da Avenida Miguel Bombarda (A I, II e III (E)). O aparelho nº 3 da Avenida (A III (E)), em todos os tipos de tempo, apresenta um comportamento semelhante a alguns pontos localizados dentro do jardim. Para além disto, verifica-se que o ponto a nordeste no interior do espaço verde (NE (I)) apresenta as temperaturas mais baixas, para todos os tipos de tempo (é importante salientar que este instrumento deixou de recolher dados ainda durante a primavera). Em contraste, o aparelho a norte do jardim (N (E)) apresenta as temperaturas médias mais elevadas de todos os locais, mas apenas nos tipos de tempo 1 e 2 (20,1°C e 20°C, respetivamente), enquanto no tipo de tempo 3 é o instrumento instalado no ponto 1 a sul (S I (E)) que ocupa este lugar (18,7°C). Ainda, é importante constatar que os instrumentos instalados mais recentemente (N (E), SI (E) e S II (E)) apresentam temperaturas médias ligeiramente mais elevadas que os restantes.

Tabela 15 - Temperaturas médias horárias no Jardim da Gulbenkian (2018)

	Tipo de tempo 1	Tipo de tempo 2	Tipo de tempo 3
T (I)	18,8°C	18,4°C	16,7°C
O (I)	17,6°C	17,3°C	15,1°C
NE (I)	16°C	15,2°C	13,8°C
O (I)	17,7°C	17,5°C	15,2°C
N (E)	20,1°C	20°C	18,6°C
A I (E)	18,4°C	18°C	16,3°C
A II (E)	19°C	18,3°C	16°C
A III (E)	17,7°C	17,2°C	15,3°C
A IV (E)	18,5°C	18°C	15,7°C
S I (E)	20°C	19,8°C	18,7°C
S II (E)	19,8°C	19,8°C	18,6°C

A correspondência entre locais dentro e fora dos espaços verdes com características térmicas comuns foi avaliada, para os vários tipos de tempo, a partir de uma análise de clusters.

No jardim da Gulbenkian, os resultados obtidos com as árvores de ligação e com os agrupamentos *K-means* são idênticos, pelo que se optou-se por apresentar, nas figuras 34 a 36, apenas os dendogramas.

Em todos os tipos de tempo, a maioria dos instrumentos dentro e na envolvente deste jardim apresenta um comportamento térmico relativamente semelhante, à exceção do instrumento 3 da Avenida Miguel Bombarda (A III (E)), que se destaca fortemente dos restantes, embora a distância de agrupamento seja relativamente baixa no tipo de tempo 2 e muito superior no tipo de tempo 3.

Também se pode verificar que, a seguir ao instrumento no ponto 3 da Avenida Miguel Bombarda, os aparelhos com as menores parecenças em termos de comportamento térmico são o telhado (T (I)) e o instrumento nº1 da mesma Avenida (A I (E)) no tipo de tempo 1, embora as diferenças relativamente aos restantes locais sejam reduzidas, o instrumento nº2 a leste do jardim (A II (E)) em dias do grupo 2 e novamente o Telhado (T (I)) nos dias do tipo de tempo 3.

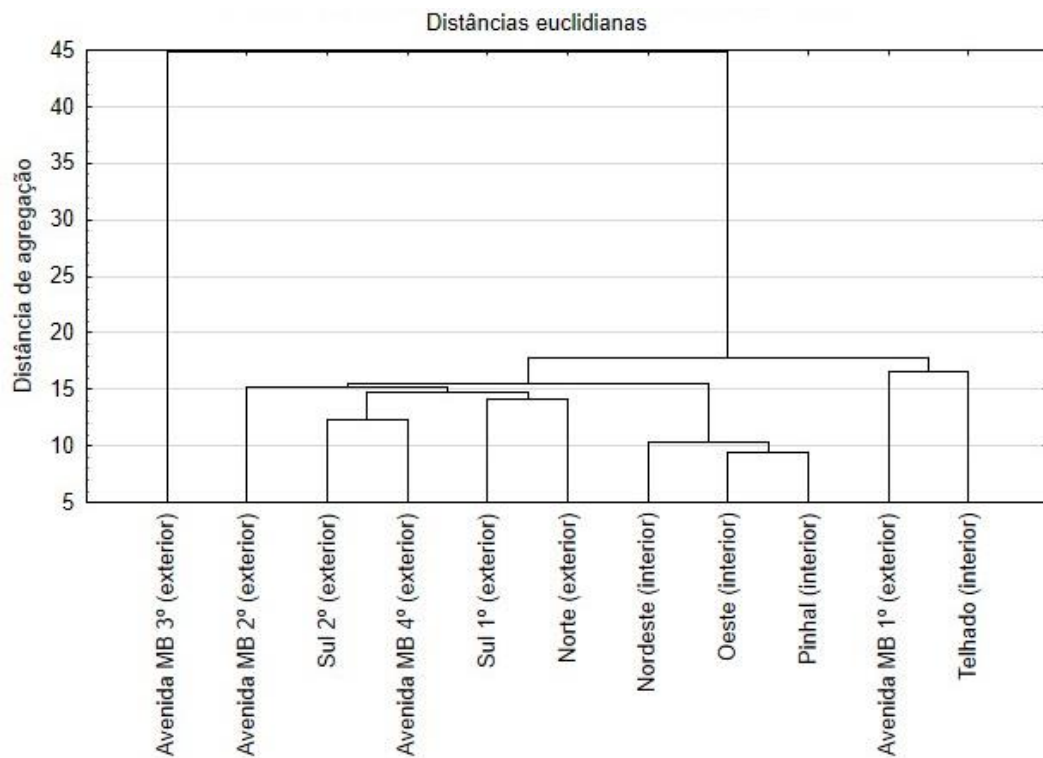


Figura 34 - Árvore de ligação – dias com céu limpo e vento fraco – tipo de tempo 1 (Jardim da Gulbenkian - 2018)

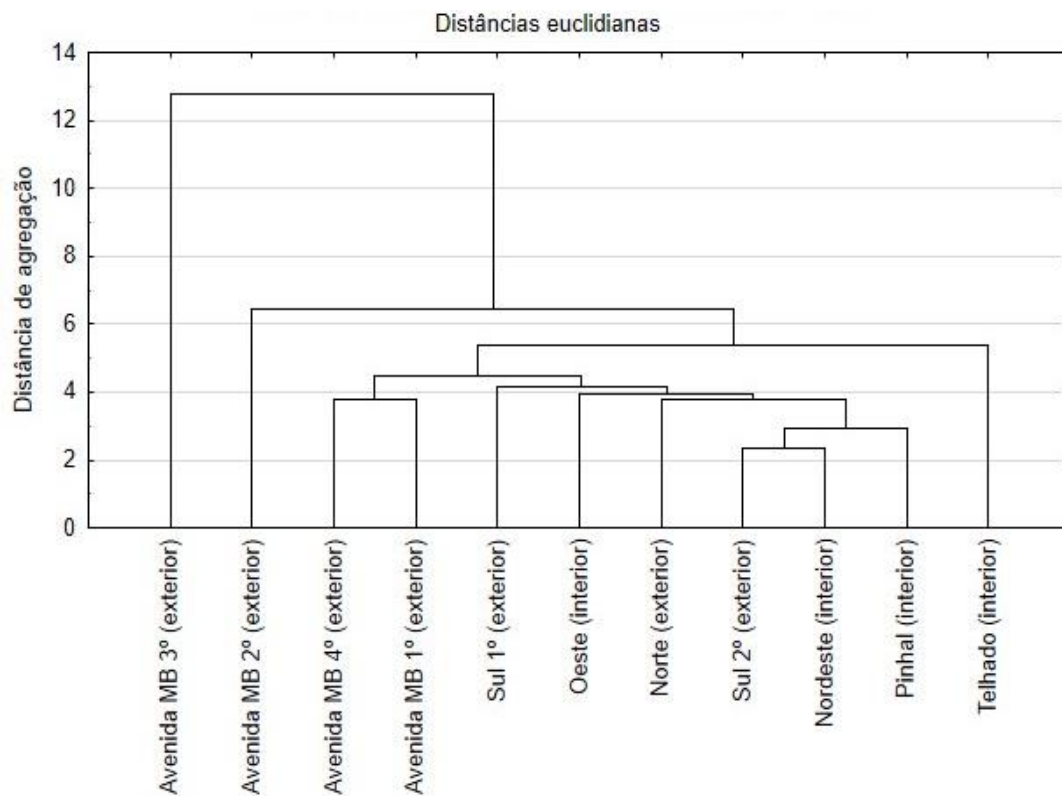


Figura 35 - Árvore de ligação – dias com céu limpo e vento moderado a forte – tipo de tempo 2 (Jardim da Gulbenkian - 2018)

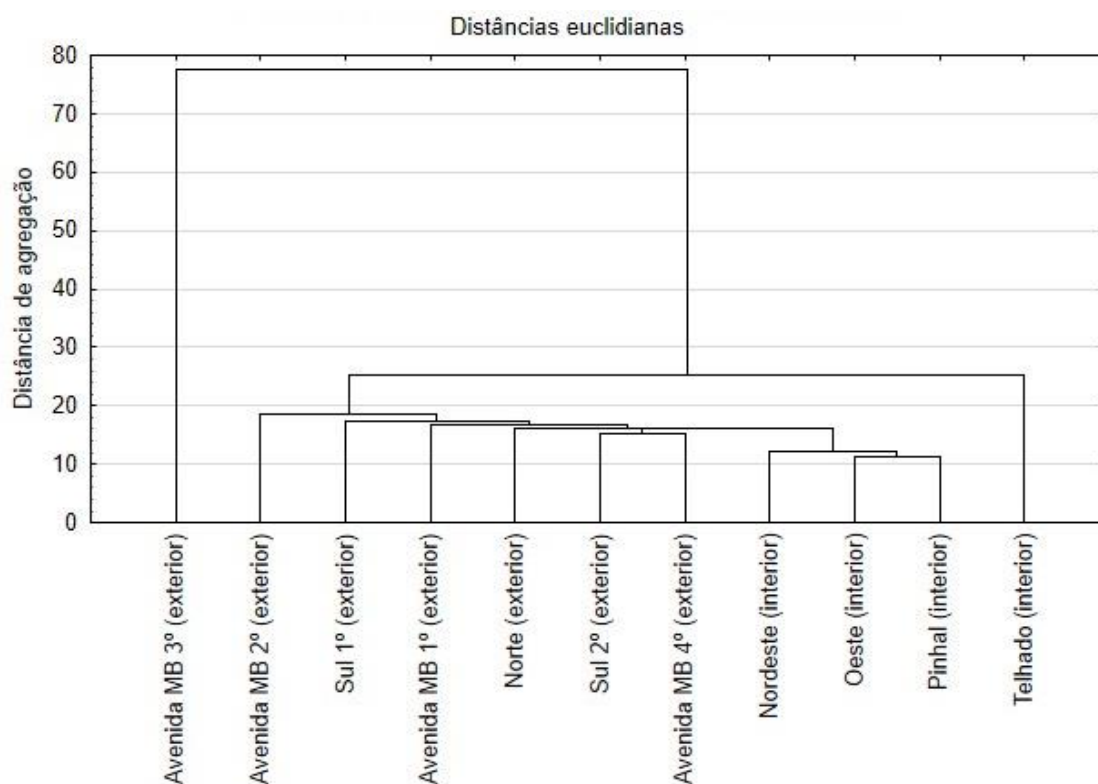


Figura 36 - Árvore de ligação – restantes condições meteorológicas observadas – tipo de tempo 3 (Jardim da Gulbenkian - 2018)

De modo a analisar o comportamento térmico diário, elaborou-se um gráfico (fig. 37) com a média das temperaturas dos instrumentos no interior do jardim (excluindo o ponto de medição instalado no telhado) e a média das temperaturas dos locais de medição no exterior. Pela sua análise pode verificar-se que o exterior do jardim esteve mais quente que o interior em todas as condições meteorológicas analisadas, sendo que as diferenças térmicas máximas atingiram 2,8°C em dias do tipo de tempo 1 e 2 (às 8:00h/9:00h e às 17:00h, respetivamente) e 2,9°C em dias do tipo de tempo 3, às 17:00h. Também se observa que a amplitude térmica diária dos locais dentro e fora do jardim é sempre menor em dias do tipo de tempo 3.

Perfis de temperatura (N-S e O-E) em torno do Jardim da Gulbenkian

De modo a avaliar mais pormenorizadamente a influência do jardim da Gulbenkian na área envolvente e a sua distância máxima de arrefecimento em condições meteorológicas distintas, apresentam-se, de seguida, um conjunto de perfis (N-S e O-E) que permitem caraterizar o comportamento das temperaturas nos vários locais dentro e fora do jardim.

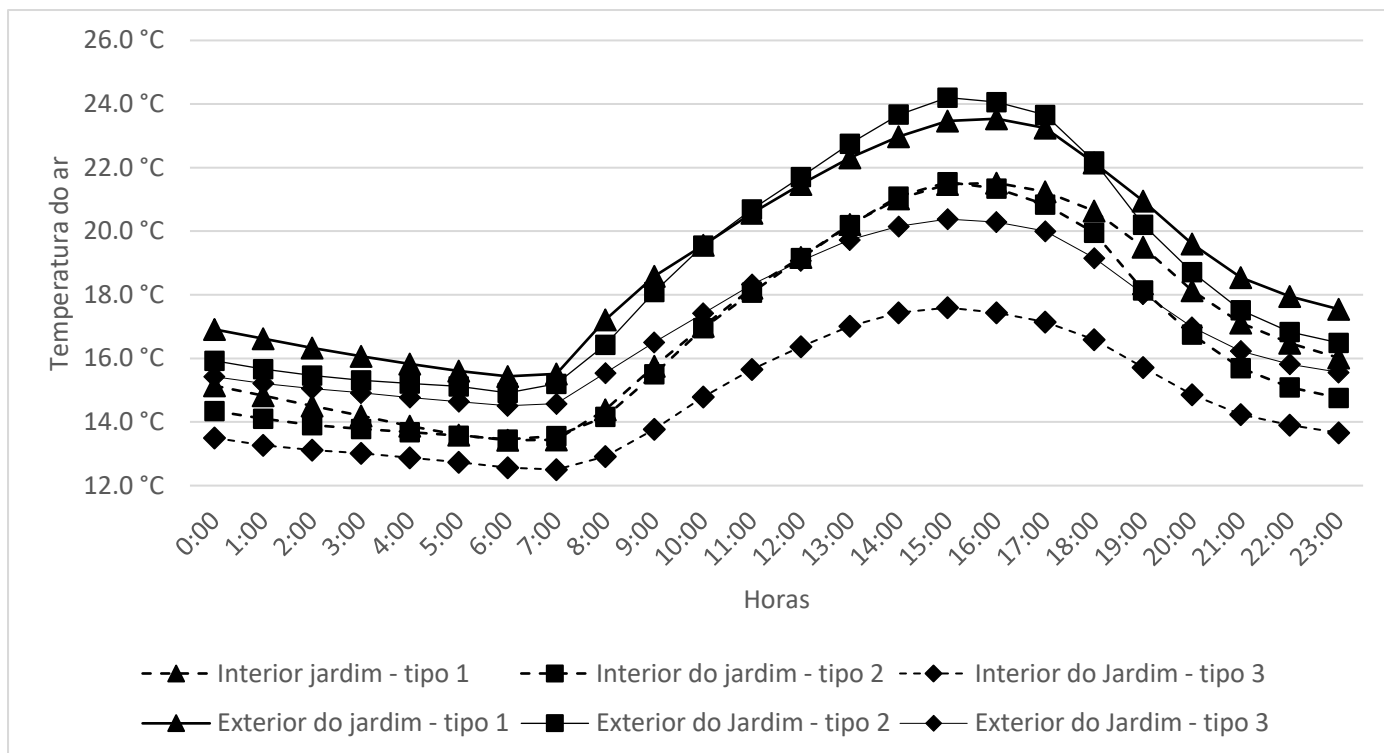


Figura 37 - Comportamento diário das temperaturas no interior e nos arredores do Jardim da Gulbenkian, entre fevereiro e julho de 2018

Relativamente à influência do jardim nas áreas envolventes a norte e a sul, no perfil da figura 38, construído com dados de temperatura do ar registados à mesma hora em todos os tipos de tempo (17:00h), verifica-se, como se referiu anteriormente, que, em todas as condições meteorológicas, o interior do jardim encontra-se mais fresco do que o exterior, sobretudo no aparelho instalado a nordeste (as diferenças máximas atingiram os 6,3°C, entre o instrumento NE (I) e o N (E), em dias do tipo de tempo 2). No exterior, as temperaturas são ligeiramente mais elevadas a norte do que a sul, embora as diferenças sejam mínimas e por vezes inferiores ao erro dos aparelhos utilizados (as diferenças máximas atingiram 1°C em dias dos tipos de tempo 1 e 2). A sul do jardim, a temperatura vai aumentando à medida que a distância ao jardim aumenta, embora esta subida seja muito pouco acentuada (1°C em dias do tipo de tempo 2). Quanto às diferenças entre tipos de tempo, o comportamento em todos os pontos de medição é semelhante, embora nos dias do grupo 3 as temperaturas sejam, no geral, cerca de 3°C mais baixas.

Considerando a variação das temperaturas atmosféricas nos mesmos locais, mas em horas distintas para cada tipo de tempo (fig. 39), isto é, verifica-se que o comportamento térmico é semelhante e, portanto, o interior do jardim está sempre mais fresco que a envolvente (as diferenças máximas atingiram os 6,1°C, novamente entre o instrumento NE (I) e o N (E), em dias do tipo de tempo 2). Ao mesmo tempo, no exterior, o norte do jardim está sempre mais quente que o sul (diferenças mínimas, nunca superiores a 1,3°C). A única distinção entre perfis corresponde a uma pequena descida da temperatura com o aumento da distância a sul do jardim, em dias do tipo de tempo 1 (0,3°C), enquanto nos restantes grupos mantém-se o

incremento das temperaturas do ar para sul (aumento máximo de 0,7°C em dias do tipo de tempo 2).

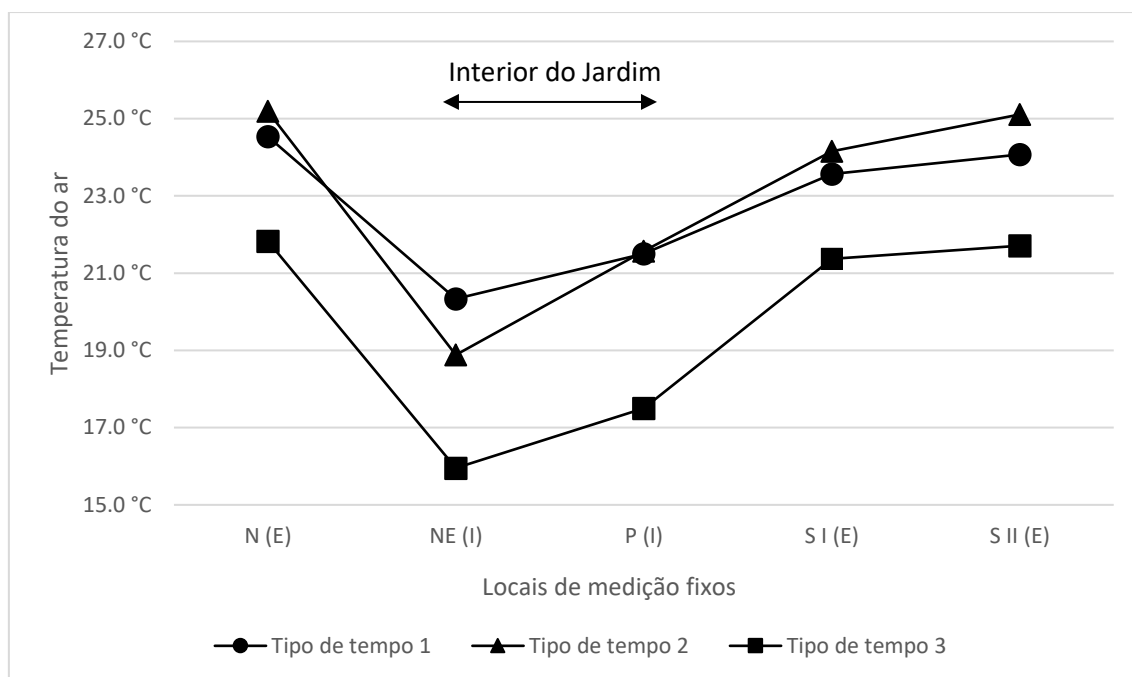


Figura 38 - Perfis de temperatura N-S no Jardim da Gulbenkian às 17:00h (2018)

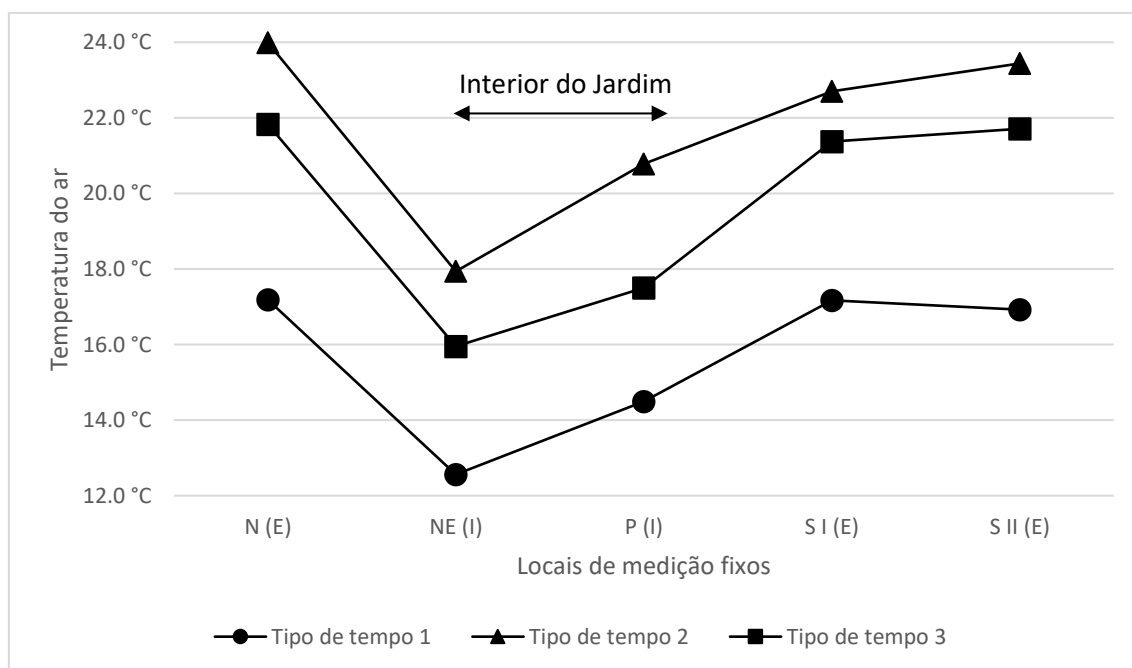


Figura 39 - Perfis de temperatura N-S no Jardim da Gulbenkian (às 5:00h, 6:00h e 8:00h no tipo de tempo 1 e às 17:00h nos tipos de tempo 2 e 3) - 2018

Quanto às diferenças entre o jardim e a sua área envolvente a leste (as diferenças térmicas em relação à área a oeste do jardim serão apenas avaliadas a partir das medições itinerantes efetuadas, por falta de instrumentos fixos localizados nessa área), para a mesma hora do dia em todos os tipos de tempo (fig. 40), constata-se que ambos os grupos 1 e 2 apresentam exatamente o mesmo comportamento em todos os pontos, isto é, a temperatura é mais baixa dentro do jardim e vai subindo à medida que a distância ao mesmo aumenta (diferenças máximas de 2,2°C, em dias do tipo de tempo 2), mas tal só se verifica até ao ponto nº2 da Avenida (A II (E)), que se encontra a cerca de 160 metros. A partir daqui a temperatura desce ligeiramente até ao ponto 3 (decréscimos máximos de 2°C em dias do tipo de tempo 2), a cerca de 250 m do jardim, e volta a subir na Avenida 5 de Outubro (aparelho A IV (E), localizado a mais de 415 metros do jardim), sendo que os incrementos nunca atingem 1°C. Portanto, o aumento da temperatura com o aumento da distância a leste deste espaço verde não se faz de forma gradual. Por sua vez, durante dias do tipo de tempo 3, as variações na temperatura entre locais de medição são ligeiramente menores, embora o interior do jardim continue consideravelmente mais fresco que o exterior (cerca de 1,5°C). Fora deste espaço verde as temperaturas vão subindo gradualmente até ao aparelho nº3 (A III (E)), começando a descer ligeiramente entre este ponto e a Avenida 5 de Outubro, cerca de 0,5°C.

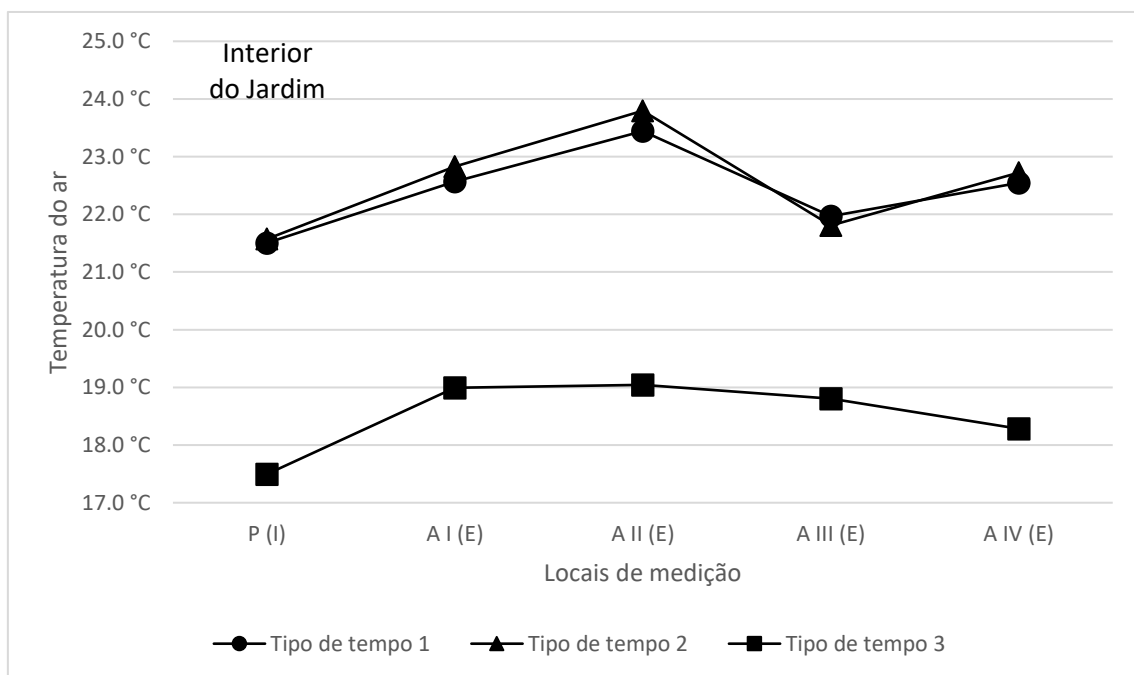


Figura 40 - Perfis de temperatura O-E no Jardim da Gulbenkian às 17:00h (2018)

Se se considerar a variação das temperaturas nestes locais, mas a horas distintas consoante a maior intensidade da PCI registada em cada tipo de tempo (fig. 41), o cenário anterior mantém-se (as diferenças máximas de temperatura entre o interior e o exterior do jardim atingem 1,5°C em dias dos tipos de tempo 2 e 3 e 1,3°C em dias do tipo de tempo 1), embora seja o grupo 1 que apresenta as temperaturas mais baixas e não o grupo 3.

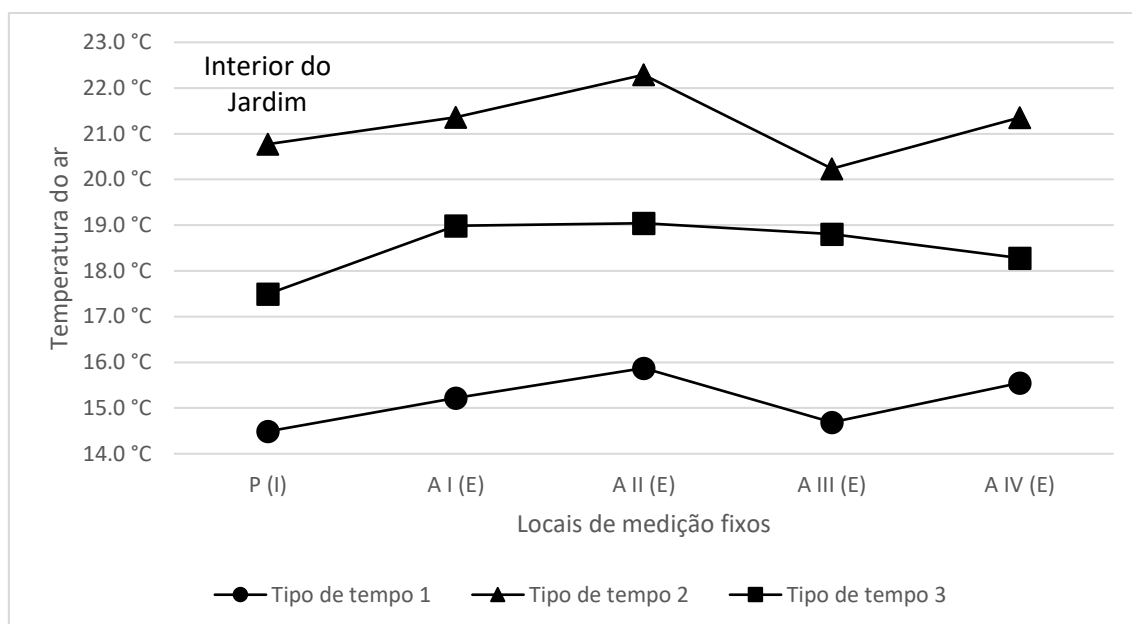


Figura 41 - Perfis de temperatura O-E no Jardim da Gulbenkian (às 5:00h, 6:00h e 8:00h no tipo de tempo 1 e às 17:00h nos tipos de tempo 2 e 3) - 2018

Jardim Fernando Pessa

Quanto ao comportamento das temperaturas médias horárias no interior e no exterior do Jardim Fernando Pessa, expresso na tabela 16, verificou-se que as temperaturas são mais elevadas em dias do tipo de tempo 1 e mais baixas em dias do tipo de tempo 3. Para além disto, os dados são muito semelhantes entre os dois locais, sendo quase sempre iguais ou inferiores à precisão dos instrumentos utilizados, embora o interior do jardim esteja sempre mais quente que o exterior, em todos os tipos de tempo (a diferença máxima atinge os 0,9°C).

Tabela 16 - Comportamento das temperaturas médias horárias Jardim Fernando Pessa entre fevereiro e julho de 2018

	Tipo de tempo 1	Tipo de tempo 2	Tipo de tempo 3
Interior do Jardim	19,3°C	18°C	16,3°C
Exterior do Jardim	19,2°C	17,7°C	16°C

Analisando a variação diárias das temperaturas expressa na figura 42, tal como no outro jardim, observou-se que as temperaturas médias mais elevadas registaram-se em dias do tipo de tempo 1, tanto dentro como fora do espaço verde. Para além disso, em grande parte do dia, o interior do jardim esteve mais quente que o exterior, em todos os tipos de tempo (entre as 6:00h e as 19:00h no tipo 1, entre a 1:00h e as 18:00h no tipo 2 e em todo o dia no tipo 3, à exceção do período entre as 18:00h e as 22:00h), sendo que as diferenças máximas atingiram 1,3°C às 8:00h em dias dos tipos de tempo 1 e 2. O exterior do jardim apenas esteve mais quente que o interior

no final da tarde e durante a noite em dias do tipo de tempo 1 (a diferença máxima entre as temperaturas do exterior e do interior atingiram os 0,8°C às 21:00h em dias do tipo de tempo 2). É, ainda, de realçar que, no geral, as maiores diferenças entre aparelhos observaram-se durante o período da manhã, nas horas do pico máximo diário de temperatura e no final da tarde/início da noite.

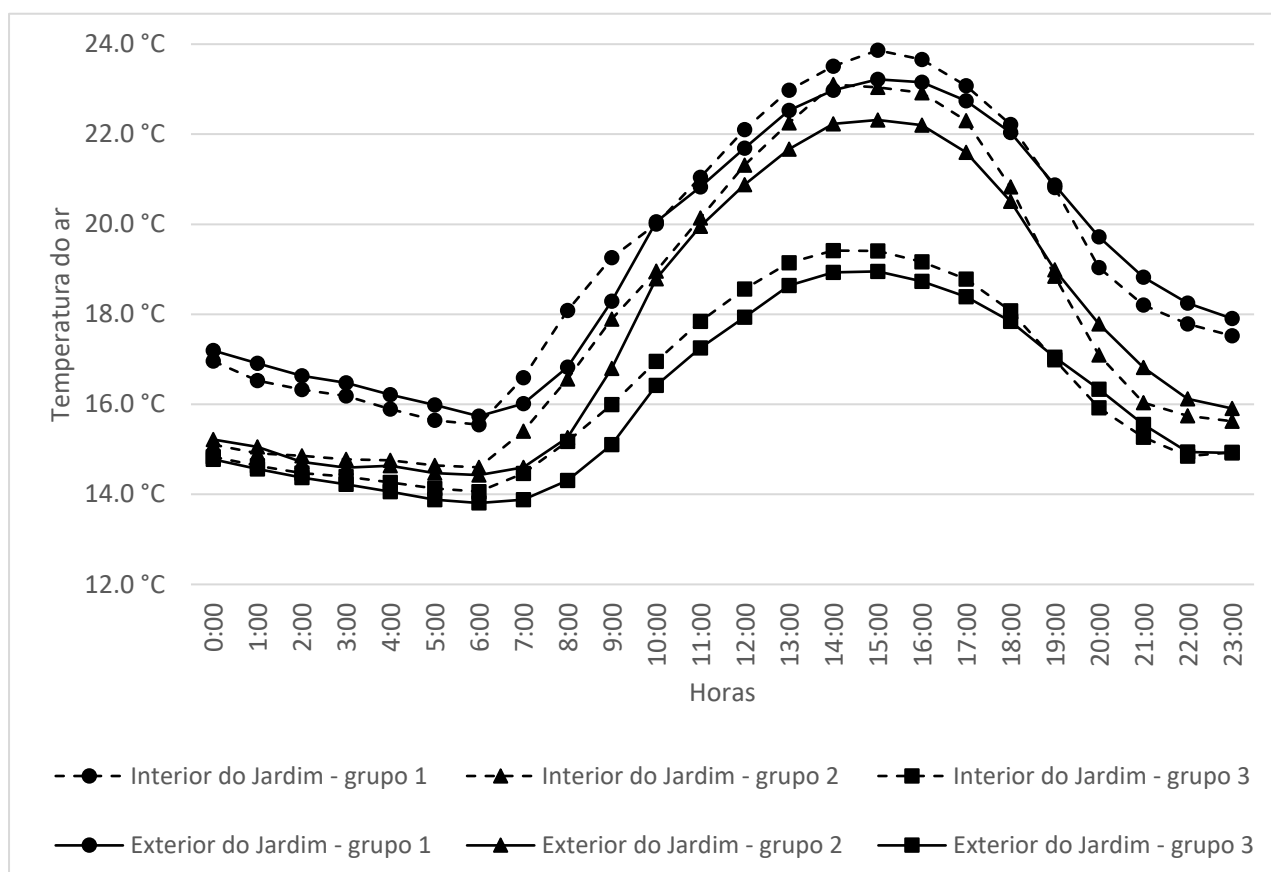


Figura 42- Comportamento diário das temperaturas no interior e nos arredores do Jardim Fernando Pessa, entre fevereiro e julho de 2018

5.2.2. Ilhas de frescura dos jardins (PCI)

Jardim da Gulbenkian

Em primeiro lugar, apresenta-se uma visão geral do comportamento da PCI neste jardim, representada na tabela 17.

Tabela 17 - PCI no Jardim da Gulbenkian: caracterização estatística geral (fevereiro a julho de 2018)

	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão (DP)
PCI	2,2°C	-2,6°C	11,6°C	1,9°C

Pela sua análise, pode referir-se que a intensidade média da PCI deste jardim é 2,2°C, mostrando que o jardim consegue, efetivamente, arrefecer o ambiente térmico envolvente, mas não em todas as situações, visto que a PCI mínima é negativa, logo o jardim encontra-se, por vezes, mais aquecido que o exterior. Já a PCI máxima é bastante mais elevada do que a média, embora o desvio-padrão revele que, no geral, a variação da intensidade da PCI em torno na média é reduzida.

Uma vez que a amplitude da PCI é elevada, contruiu-se um histograma de frequências (fig. 43), onde se verifica que as intensidades mais frequentes são entre 0,3°C e 2,3°C.

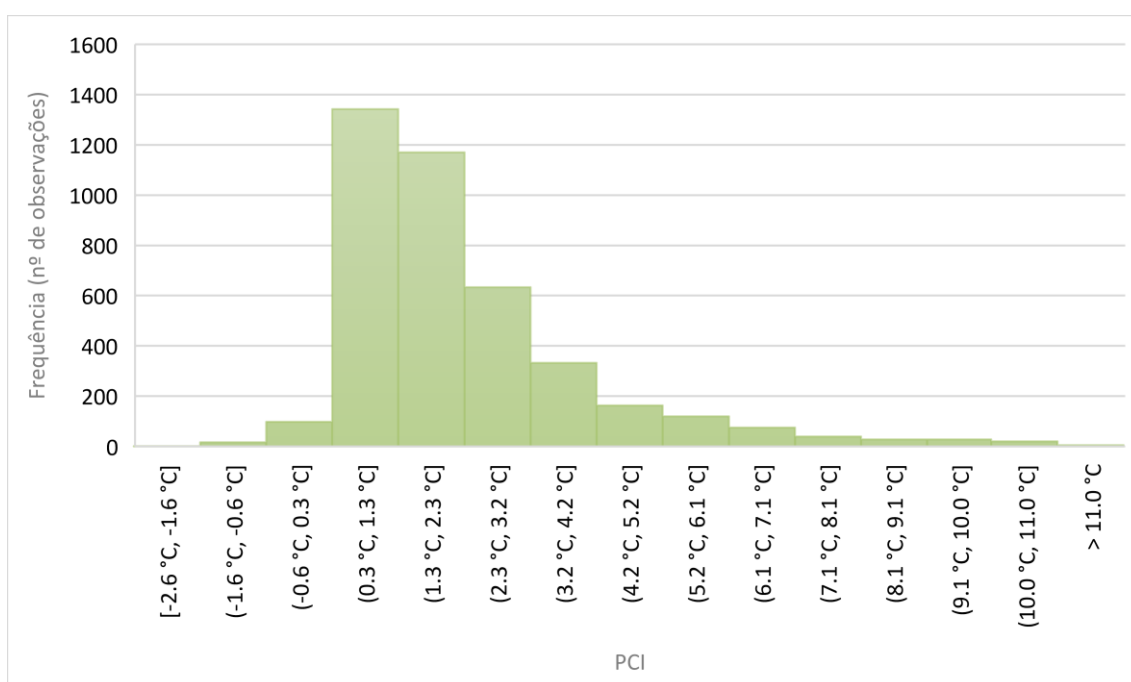


Figura 43 -Histograma de frequências: PCI no Jardim da Gulbenkian (fevereiro a julho de 2018)

Pela análise de todas as PCI calculadas, verificou-se que as maiores intensidades (superiores a 10°C) ocorrem, na maior parte dos casos, em dias do tipo de tempo 3 (9 dos 10 dias em que se registaram tais intensidades) e em apenas um dia do tipo de tempo 1. Quanto ao momento do dia em que tais se registam, destacam-se as 12:00h, o período da tarde (das 14:00h às 17:00h) e algumas horas da madrugada (das 5:00h às 6:00h). Relativamente à estação do ano, estas intensidades mais elevadas ocorreram primordialmente em dias de primavera (sete) e em apenas dois dias de inverno.

Em oposição, as PCI mais fracas (correspondentes a momentos em que não há arrefecimento do jardim) ocorreram, sobretudo, em dias do tipo de tempo 3 (dezasseis dos dezoito dias em que se registaram tais intensidades) e em apenas um dia do grupo 1 e outro dia do grupo 2. Quanto à estação do ano, ocorreram, principalmente, no inverno (doze dias) e em alguns dias da primavera (seis dias), sobretudo, no período chuvoso que se registou em março do presente

ano. Relativamente ao momento do dia, o jardim encontrou-se mais quente que o exterior, na maior parte dos casos, durante o período diurno, sobretudo entre as 11:00h e as 12:00h e entre as 14:00h e as 15:00h e, portanto, nos momentos em que se registaram as temperaturas mais elevadas, tanto dentro como fora do jardim.

Fazendo uma análise mais fina do comportamento da PCI em condições meteorológicas, elaborou-se a tabela 18.

Tabela 18 - PCI no Jardim da Gulbenkian: análise estatística por tipos de tempo (fevereiro a julho de 2018)

PCI	Tipo tempo 1	Tipo tempo 2	Tipo tempo 3
Mínimo	-1,3°C	0,3°C	-2,6°C
Primeiro Quartil (Q1)	1,2°C	1°C	1°C
Mediana	1,9°C	1,4°C	1,6°C
Média	2,3°C	2°C	2,2°C
Terceiro Quartil (Q3)	2,9°C	2,7°C	2,9°C
Máximo	10,2°C	9,3°C	11,6°C

Como se pode verificar, as maiores intensidades ocorrem nos valores extremos (PCI máxima e mínima) e não nas intensidades médias ou medianas e nos quartis. Ambos os grupos 1 e 3 apresentam intensidades médias similares (2,3°C e 2,2°C, respetivamente), enquanto que o grupo 2 tem intensidades médias ligeiramente inferiores (2°C). Relativamente aos valores máximos, estes são muito elevados em todos os tipos de tempo. No entanto, 75% dos dados encontram-se sempre abaixo dos 3°C (intensidades relativamente fracas). Por sua vez, no que respeita às intensidades mínimas, apenas em dias do tipo de tempo 2, o jardim encontra-se sempre mais fresco que o exterior (nos restantes grupos existem momentos em que se observa o contrário).

Relativamente ao comportamento da PCI por estações do ano, elaborou-se a tabela 19.

Tabela 19 - PCI máxima no Jardim da Gulbenkian: caracterização estatística por tipos de tempo e por estações do ano (fevereiro a julho de 2018)

	Tipo de tempo 1	Tipo de tempo 2	Tipo de tempo 3
Inverno	10,2°C	4,7°C	11°C
Primavera	7,5°C	9,3°C	11,6°C
Verão	6,1°C	3,8°C	6,2°C

No que toca à estação mais fria do ano, as diferenças entre os tipos de tempo 1 e 3 são reduzidas, comparativamente ao tipo 2, embora no tipo de tempo 3 se registem as intensidades mais elevadas (as diferenças atingiram 6,3°C no inverno). Relativamente à primavera, é no grupo 3

que se registam as maiores intensidades (esta é também a intensidade máxima registada neste jardim, 11,6°C), enquanto as intensidades máximas mais reduzidas ocorrem em dias do tipo de tempo (7,5°C). No verão, as intensidades máximas foram mais elevadas em dias do grupo 3 (6,2°C), embora a diferença em relação ao grupo 1 seja insignificante (0,1°C), e mais baixas em dias do grupo 2 (3,8°C).

Estabelecendo uma comparação entre o comportamento da PCI deste jardim nas várias estações do ano, verifica-se que no verão as suas intensidades são inferiores à primavera e ao inverno, em todos os tipos de tempo. Portanto, o jardim da Gulbenkian encontra-se ligeiramente mais fresco no inverno e primavera do que no verão em relação às áreas limítrofes.

De modo a resumir as diferenças entre a PCI durante o dia e durante a noite, tanto no horário de inverno como no horário de verão, para condições meteorológicas distintas, construiu-se a tabela 20.

Tabela 20 – PCI máxima no Jardim da Gulbenkian: caracterização estatística por tipos de tempo e por períodos diurno e noturno (fevereiro a julho de 2018)

	Tipo de tempo 1				Tipo de tempo 2				Tipo de tempo 3			
	Período diurno		Período noturno		Período diurno		Período noturno		Período diurno		Período noturno	
	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.
PCI Máx.	7,7°C	7,5°C	9,3°C	6,2°C	4,7°C	7,5°C	1,1°C	2,2°C	11°C	11,6°C	11,2°C	7,4°C

Pela sua análise pode verificar-se que as maiores intensidades da PCI ocorreram durante o dia, sobretudo no grupo 3 dos tipos de tempo (11°C e 11,6°C nos períodos de inverno e verão, respetivamente), enquanto as menores intensidades registaram-se no tipo 2 (sempre inferiores a 8°C). Para além disto, observa-se que, no inverno a PCI é sempre mais intensa de noite do que de dia, à exceção do tipo de tempo 2 (a diferença entre a PCI diurna e noturna atinge os 3,6°C). No verão, a PCI é sempre mais intensa de dia do que de noite, em todos os tipos de tempo (as intensidades máximas atingiram 11,6°C em dias do tipo de tempo 3).

Jardim Fernando Pessa

Tal como no Jardim da Gulbenkian, no quadro 21 segue-se um panorama geral do comportamento da PCI neste jardim.

Tabela 21 - PCI no Jardim Fernando Pessa: caracterização estatística geral (fevereiro a julho de 2018)

	Média	Mínimo	Máximo	DP
PCI	-0,2°C	-4°C	3,5°C	0,8°C

Pela sua análise pode verificar-se que este jardim, esteve, em média, mais quente que o exterior (PCI média de $-0,2^{\circ}\text{C}$), sendo que o desvio-padrão ($0,8^{\circ}\text{C}$) mostra que a variação em torno da PCI é reduzida e, portanto, o potencial de arrefecimento deste jardim é muito reduzido.

Verificando a frequência das situações de arrefecimento e aquecimento, a partir da figura 44, constata-se que a PCI mais frequente foi entre os $-0,5^{\circ}\text{C}$ e os 0°C , isto é, o jardim registou, frequentemente, temperaturas relativamente semelhantes às do exterior.

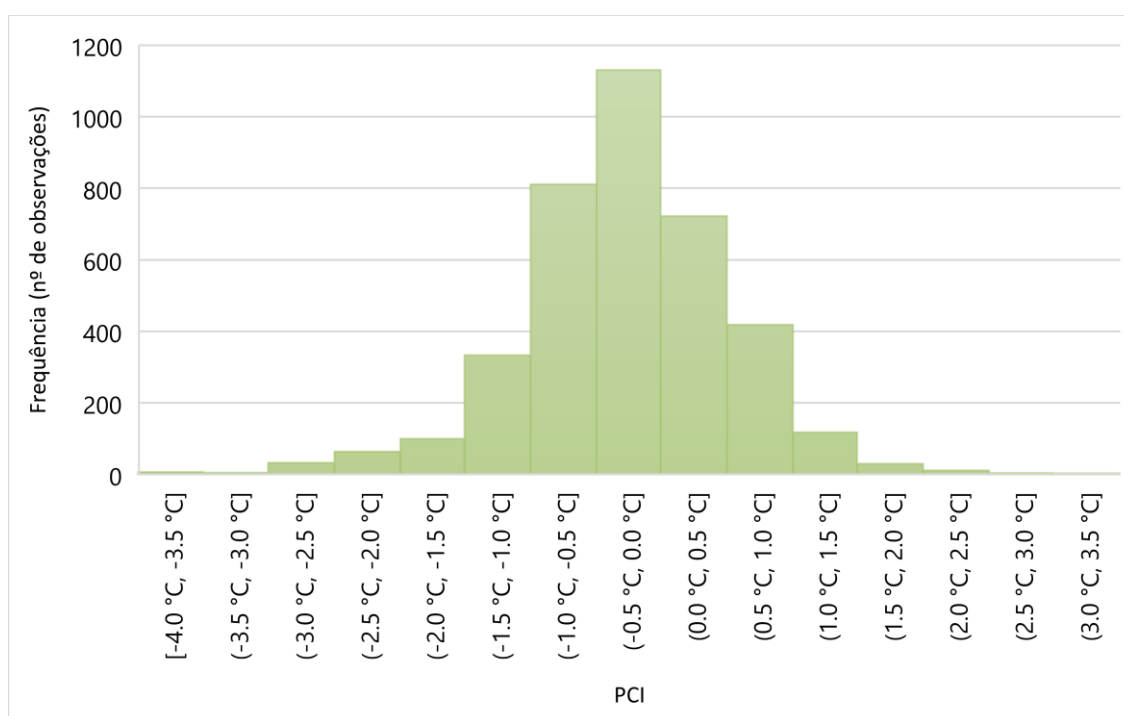


Figura 44 - Histograma de frequências: PCI no Jardim Fernando Pessa (fevereiro a julho de 2018)

Analisando pormenorizadamente todos os resultados, constatou-se que as PCI mais intensas (superiores a 2°C) verificaram-se dos sete dias, em seis do tipo de tempo 1 e em apenas um dia do tipo de tempo 3, contrariamente ao Jardim da Gulbenkian. Relativamente à estação do ano, estas PCI registaram-se, tal como na Gulbenkian, quase sempre em dias de primavera, à exceção de um dia, no verão (na Gulbenkian as maiores intensidades nunca ocorreram nesta estação do ano). No que toca ao momento do dia, as PCI mais intensas ocorreram, ao contrário do outro jardim, sempre de madrugada, sobretudo entre as 4:00h e as 6:00h da manhã.

Em contraste, as menores intensidades da PCI (iguais ou inferiores a -3°C), dos onze dias considerados, tal como no Jardim da Gulbenkian, ocorreram, na sua maioria, em dias do grupo 3 (sete), seguidos de três dias do tipo de tempo 1 e um dia do tipo de tempo 2. A estação do ano mais frequente foi, novamente, a primavera (seis dias), seguida do verão (cinco dias). Por último, o jardim esteve consideravelmente mais quente que o exterior no início da manhã, entre as 8:00h e as 9:00h.

Tendo em conta as características da PCI por tipos de tempo, expressas na tabela 22, as maiores diferenças entre grupos de tipos de tempo verificam-se nas intensidades máximas e mínimas. Em todos os tipos de tempo, em média e em 50% dos dias o jardim esteve mais aquecido que a envolvente, embora este aquecimento seja ligeiramente maior em dias do tipo de tempo 3

(-0,3°C). Por sua vez, as intensidades máximas são mais elevadas em dias do grupo 1 (onde se atinge a intensidade máxima registada durante todo o período de amostra, 3,5°C).

Tabela 22- PCI no Jardim Fernando Pessa: análise estatística por tipos de tempo (fevereiro a julho de 2018)

PCI	Tipo tempo 1	Tipo tempo 2	Tipo tempo 3
Mínimo	-3,6 °C	-3°C	-4°C
Primeiro Quartil (Q1)	-0,6°C	-0,6°C	-1°C
Mediana	-0,1°C	-0,2°C	-0,3°C
Média	-0,1°C	-0,2°C	-0,3°C
Terceiro Quartil (Q3)	0,5°C	0,3°C	0,2°C
Máximo	3,5°C	1,3°C	2°C

Tendo em conta a divisão dos resultados por estações do ano, pela análise da tabela 23 é possível verificar que as intensidades máximas mais baixas da PCI foram registadas em dias do tipo de tempo 2 (inferiores a 2°C em todas as estações), tal como no jardim da Gulbenkian, enquanto no tipo de tempo 1 foram observadas as maiores intensidades da PCI em todas as estações, à exceção do inverno (1,3°C vs 2°C em dias do tipo de tempo 3). Para além disto, o inverno foi a estação que em as intensidades da PCI foram menores em todos os tipos de tempo (nunca ultrapassaram os 2°C), exceto em dias do tipo de tempo 3, em que foram as mais elevadas.

Tabela 23 – PCI máxima no Jardim Fernando Pessa: caracterização estatística por tipos de tempo e por estações do ano (fevereiro a julho de 2018)

	Tipo de tempo 1	Tipo de tempo 2	Tipo de tempo 3
Inverno	1,3°C	0,9°C	2°C
Primavera	3,5°C	1,3°C	1,9°C
Verão	2,1°C	0,9°C	1,6°C

Relativamente à análise da PCI por períodos diurno e noturno, expressa na tabela 24, verifica-se que em todos os tipos de tempo e quer de inverno, quer de verão, a sua intensidade é sempre maior de noite do que de dia (de dia a PCI é sempre inferior a 0°C, logo o jardim está sempre mais aquecido que o exterior, enquanto que de noite apenas no período de verão de dias com tipo de tempo 3 o jardim encontrou-se 0,2°C mais aquecido que o exterior). As maiores

intensidades foram registadas durante as noites do horário de inverno no tipo de tempo 2 (0,4°C), enquanto as menores intensidades ocorreram em dias do tipo de tempo 1 (-1°C e -3°C nos períodos de inverno e verão, respetivamente).

Tabela 24 - PCI máxima no Jardim da Gulbenkian: caracterização estatística por tipos de tempo e por período diurno e noturno (fevereiro a julho de 2018)

	Tipo de tempo 1				Tipo de tempo 2				Tipo de tempo 3			
	Período diurno		Período noturno		Período diurno		Período noturno		Período diurno		Período noturno	
	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.
IFP Média	-1°C	-3°C	0°C	0,3°C	-0,8°C	-0,6°C	0,4°C	0,2°C	-0,5°C	-0,6°C	0,1°C	-0,2°C

Conclusão parcial

Pela análise do comportamento diário da PCI em ambos os espaços verdes, expresso na figura 45, é possível verificar que, relativamente ao Jardim da Gulbenkian, em todos os tipos de tempo a PCI apresenta um comportamento semelhante ao das temperaturas diárias no interior e na envolvente deste espaço verde, ou seja, é sempre mais intensa durante o dia que de noite, mas nunca apresentando em qualquer momento do dia valores negativos.

Destacam-se dois picos máximos, um no início da manhã (por volta das 8:00h/9:00h), em que o tipo de tempo 1 apresenta intensidades consideravelmente superiores aos restantes tipos de tempo (entre 3,5°C e 3,9°C), e outro a meio da tarde (17:00h, em que a PCI varia entre os 2,9°C e os 3,7°C), momento do dia em que as temperaturas dentro e fora do jardim são, normalmente, mais elevadas. Neste segundo pico, a PCI apresenta valores máximos em dias do tipo de tempo 2 (3,7°C). Durante a noite, a PCI é mais intensa em dias do tipo de tempo 3, entre as 20:00h e as 23:00h (varia entre os 2°C e os 2,3°C) e, entre as 0:00h e as 7:00h, com valores entre 1,5°C e 1,7°C (momento em que se regista a PCI mínima para os tipos de tempo 2 e 3). A menor variação diária da PCI neste ocorre em dias do tipo de tempo 3 (amplitude máxima de 1,7°C).

Pelo contrário, a PCI no Jardim Fernando Pessa é geralmente negativa e comporta-se de forma exatamente oposta, sendo mais intensa durante a noite que de dia (fig. 45), com valores máximos (positivos) em todos os tipos de tempo (ligeiramente superior em dias do tipo de tempo 2), por volta das 20:00/21:00h (entre os 0,4°C e os 0,8°C). É também durante o período noturno que o jardim se encontra, sobretudo no tipo de tempo 1, com a mesma temperatura do exterior ou ligeiramente mais fresco. Durante o dia são atingidas as menores intensidades, sobretudo no início da manhã, por volta das 9:00h (entre -0,9°C e -1,4°C), momento em que se regista o primeiro pico máximo de intensidade da PCI no jardim da Gulbenkian. Relativamente às diferenças entre tipos de tempo, estas são menores neste jardim do que no espaço verde de maiores dimensões, embora, em ambos, a amplitude de variação diária da PCI seja menor em

dias do tipo de tempo 3 (1,7°C e 1,3°C no Jardim da Gulbenkian e no Jardim Fernando Pessa). Ainda, também se pode observar que os maiores afastamentos entre o comportamento da PCI dos jardins decorrem durante o dia, enquanto que, de noite em ambos, a PCI mantém-se relativamente estável e fraca.

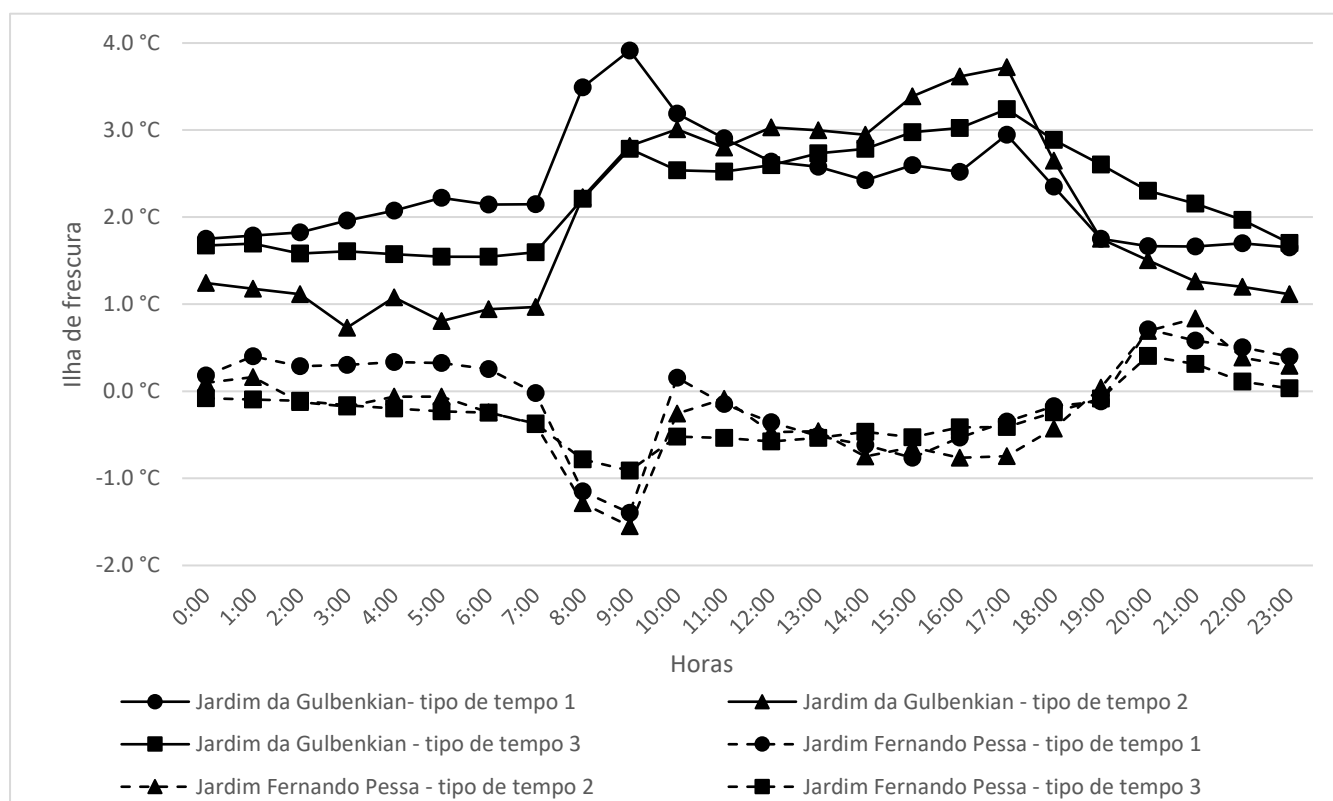


Figura 45 - Comportamento diário da PCI no Jardim da Gulbenkian e no Jardim Fernando Pessa (fevereiro a julho de 2018)

5.2.3. Análise das medições itinerantes

Jardim da Gulbenkian

No que refere aos dados de temperatura do ar, humidade relativa e velocidade média do vento recolhidos em todos os percursos dentro e fora do Jardim da Gulbenkian, é importante realçar que a sua análise não teve em conta a classificação dos tipos de tempo elaborada no presente estudo, uma vez que não foram encontradas, à priori, diferenças entre o comportamento destas variáveis climáticas em condições meteorológicas distintas, pelo que os gráficos apresentados de seguida tiveram em conta todas as medições efetuadas e permitem avaliar o comportamento térmico médio do jardim e da sua envolvente bem como as distâncias máximas de arrefecimento.

No anexo 5 encontram-se um conjunto de quadros com as anomalias de temperatura do ar e humidade relativa registadas em todos os dias de medição, em todos os percursos efetuados.

O percurso efetuado no interior do jardim (fig. 46) permite avaliar os contrastes térmicos entre locais com distinta ventilação, condições de insolação (sombra/sol) e densidade e tipos de vegetação (sobretudo considerando as diferenças entre vegetação muito densa e espaços abertos e entre espécies arbóreas, arbustivas e herbáceas).

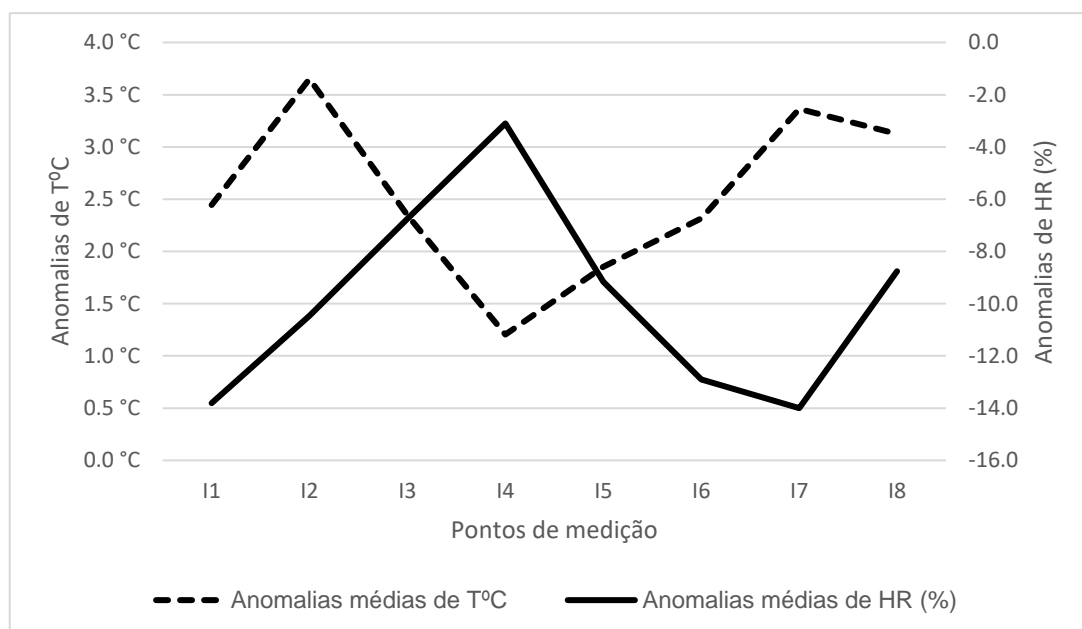


Figura 46 – Anomalias de temperatura do ar e humidade relativa no percurso itinerante do interior do Jardim da Gulbenkian (2018). Nota: os pontos de medição são referentes aos pontos da figura 18

Quanto à temperatura do ar, verificou-se, em média, que os pontos I 3, 4, 5 e 6 encontram-se mais frescos (anomalias de temperatura iguais ou inferiores a 2°C) comparativamente aos locais I 1, 2, 7 e 8 (anomalias iguais ou superiores a 2,5°C). No que concerne a humidade, o seu comportamento é exatamente inverso ao da temperatura, isto é, são os locais com as menores anomalias de temperatura referidos anteriormente que se encontram mais húmidos (anomalias entre os -2,5% e os -8%), enquanto os mais quentes estão normalmente mais secos (anomalias entre os -9 e os -13,5%).

Ainda, a velocidade média do vento registada nos mesmos locais é insignificante, ou seja, em todos os dias de medição o vento registado foi muito fraco (velocidades médias iguais ou inferiores a 1 m/s).

Quanto ao percurso a norte do jardim, pela análise da figura 47, é possível verificar que, em média, não é o ponto mais afastado que se encontra mais aquecido, sendo que o local a meio registou, na maior parte dos dias, as anomalias de temperatura mais fortes (as anomalias médias ultrapassaram ligeiramente os 2°C), descendo estas ligeiramente entre o mesmo local e o ponto 3 (anomalias médias inferiores a 1,5°C), que se encontra, no geral, ligeiramente mais arrefecido que o local na proximidade do jardim, o que indica que a influência do jardim deixou de se sentir a partir do ponto a meio do percurso, a cerca de 70 m da Gulbenkian.

Mais uma vez, a humidade relativa comporta-se de forma contrária à temperatura do ar, uma vez que o ponto mais quente (E 2) é também o menos húmido (as anomalias são superiores a -12%), mas não em todos os locais de medição neste percurso, visto que o ponto mais próximo do jardim não registou as temperaturas médias mais baixas do percurso mas é, em média, o mais húmido (anomalias inferiores a -7%).

Completando a análise deste percurso a partir da caracterização do comportamento do vento (tabela 25), é possível verificar que o ponto mais quente e mais seco (E 2) registou as menores velocidades do vento numa porção significativa dos dias (sem vento nos dias 24/04, 18/06, 25/06 e 07/07), enquanto o ponto mais a norte e, portanto, o mais arrefecido, registou a maior velocidade (3,3 m/s no dia 24/04), o que mostra a importância desta variável na temperatura do ar.

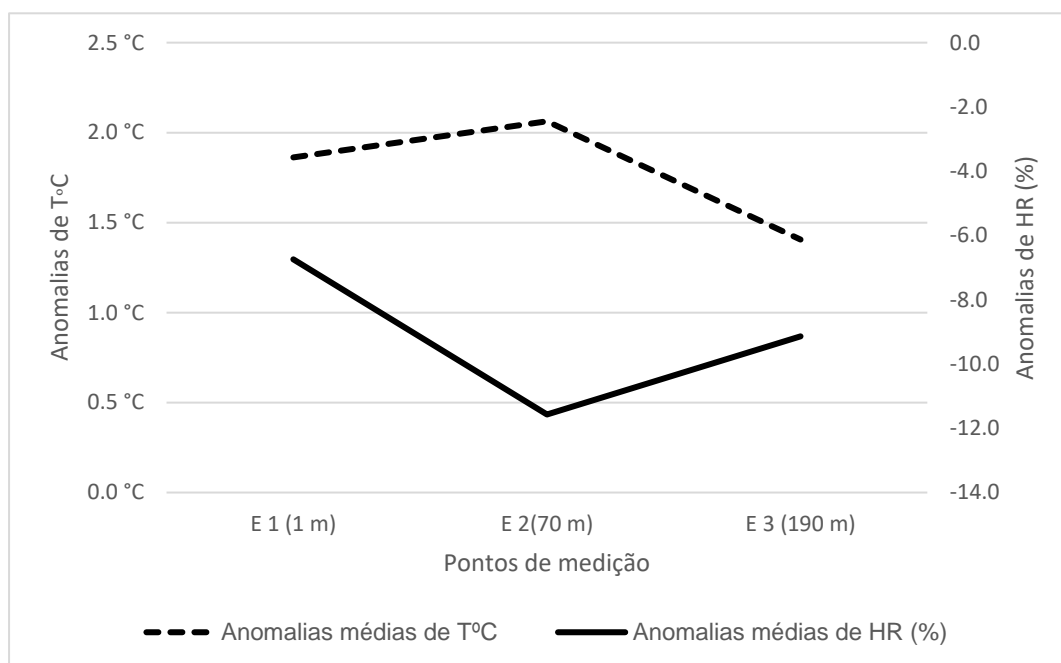


Figura 47 – Anomalias médias de temperatura do ar e humidade relativa no percurso a norte do Jardim da Gulbenkian, na Rua Tenente Espanca (2018). Nota: os pontos de medição são referentes aos pontos da figura 18

Relativamente à área a sul do jardim, cujo comportamento térmico médio se encontra representado no gráfico da figura 48, pode observar-se que, ao contrário dos cenários anteriores, a temperatura do ar e a humidade relativa não apresentam um comportamento oposto, isto é, o local mais quente (ponto E9, mais afastado do jardim, com anomalias médias de 3,1°C) não é o mais seco mas, sim, o mais húmido (anomalia média de humidade relativa inferior a -14%). Em vez disso, o ponto mais arrefecido (local E8, a meio do percurso, registando uma anomalia média de aproximadamente 2,8°C) corresponde ao mais seco (as anomalias superiores a -14,1%), embora a amplitude de variação de ambos os elementos climáticos seja muito reduzida.

Tabela 25 - Comportamento do vento (velocidade média) a norte do Jardim da Gulbenkian, na Rua Tenente Espanca (2018): medições itinerantes

Data	Ponto E1	Ponto E2	Ponto E3
24/04/2018	0,7 m/s	0 m/s	3,3 m/s
20/05/2018	0,6 m/s	0,6 m/s	0 m/s
18/06/2018	0,1 m/s	0 m/s	2 m/s
25/06/2018	0 m/s	0 m/s	0,1 m/s
07/07/2018	0 m/s	0 m/s	0,8 m/s
09/07/2018	1,7 m/s	0,6 m/s	0,3 m/s
23/07/2018	0,7 m/s	0,3 m/s	0,4 m/s

Para além disso, verifica-se que o aumento da temperatura com o aumento da distância ao jardim não é linear, uma vez que a temperatura desce do ponto E7 para o ponto E8 e, só depois, aumenta ligeiramente até ao último local de medição.

Relativamente ao comportamento do vento, constatou-se que este foi geralmente muito fraco ou mesmo de calma atmosférica, na maior parte das vezes inferior a 1 m/s.

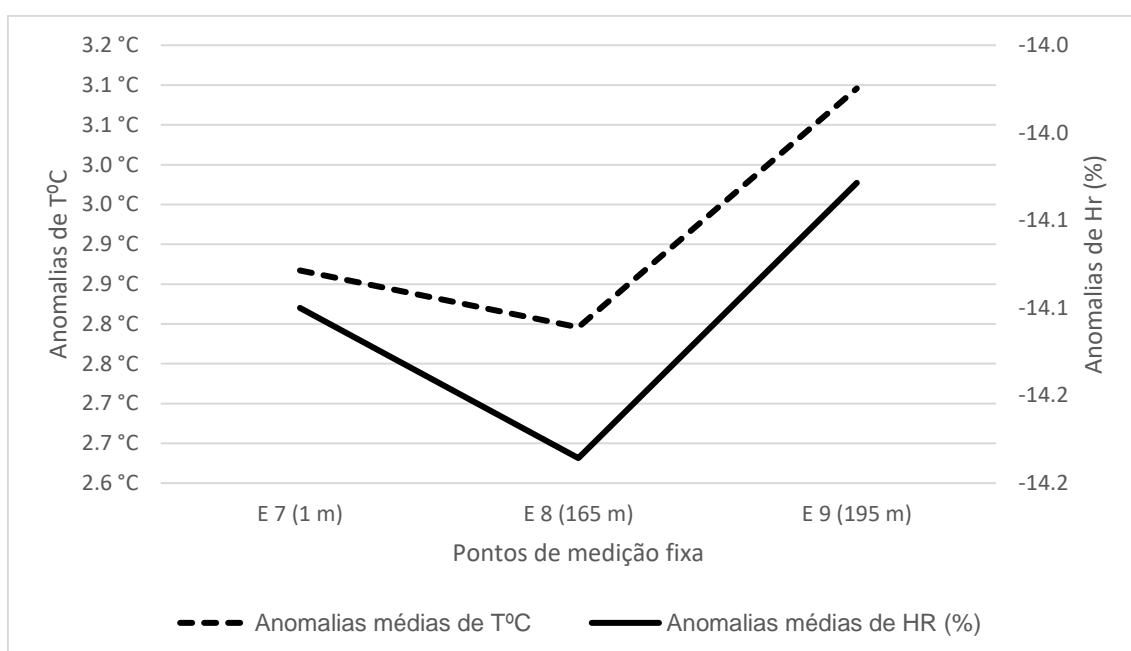


Figura 48 – Anomalias médias de temperatura do ar e humidade relativa no percurso a sul do Jardim da Gulbenkian, na Rua Dr. Nicolau Bettencourt (2018). Nota: os pontos de medição são referentes aos pontos da figura 18

No que concerne ao percurso a oeste da Gulbenkian, tal como se pode verificar no gráfico da figura 49, a temperatura sobe de forma gradual à medida que a distância aumenta. Assim, o local mais fresco corresponde ao mais húmido (ponto E4, mais próximo do jardim, com anomalias médias de temperatura de 1,9°C e de humidade relativa superiores a -12%), ao passo que o local mais aquecido está, normalmente, mais seco (mais afastado do jardim, com anomalias médias de temperatura de 4°C e anomalias médias de humidade relativa de -2%).

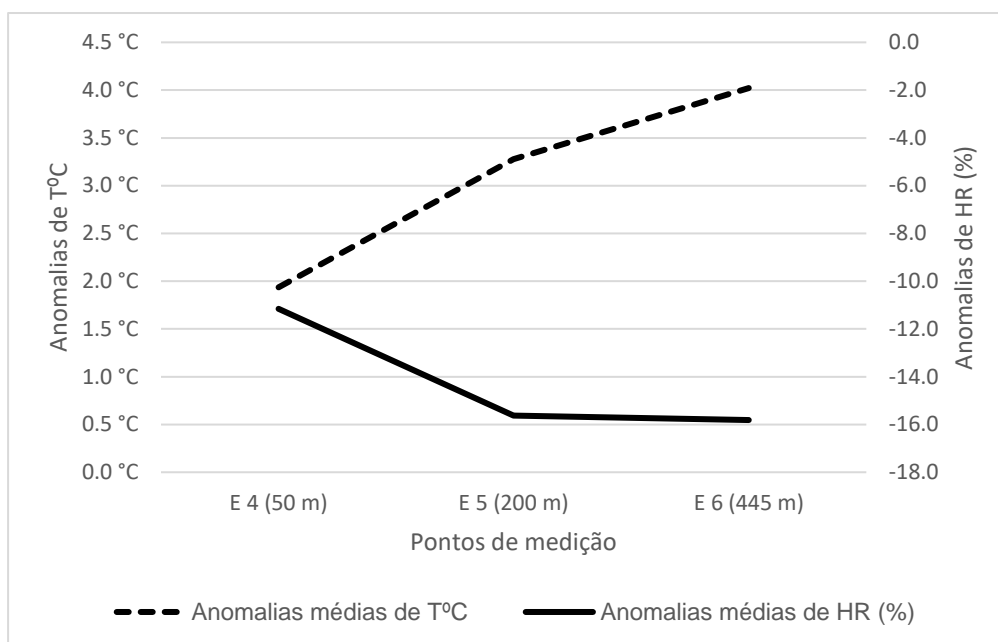


Figura 49 – Anomalias médias de temperatura do ar e humidade relativa no percurso a oeste do Jardim da Gulbenkian, na Rua Ramalho Ortigão (2018). Nota: os pontos de medição são referentes aos pontos da figura 18

Conjugando estes indicadores com a descrição do comportamento do vento (tabela 26), constata-se que o local mais aquecido registou a maior velocidade média do vento em todas as medições (2,1 m/s no dia 23/07/2018), sendo, em mais de metade dos dias, o local mais bem ventilado, seguido do ponto mais próximo do jardim (apenas no dia 25/06 se observou uma situação de calma atmosférica).

Por fim, na área a leste do jardim, correspondente à Avenida Miguel Bombarda, o comportamento médio da temperatura e da humidade relativa, representado no gráfico da figura 50, é, em parte, semelhante ao do percurso anterior, isto é, a temperatura vai aumentando à medida que a distância ao jardim aumenta.

Tabela 26 - Comportamento do vento (velocidade média) a oeste do Jardim da Gulbenkian, na Rua Ramalho Ortigão (2018) – medições itinerantes

	Ponto E4	Ponto E5	Ponto E6
24/04/2018	1,6 m/s	0 m/s	0,5 m/s
20/05/2018	1,2 m/s	1,5 m/s	0,7 m/s
18/06/2018	0,2 m/s	0,5 m/s	1,8 m/s
25/06/2018	0 m/s	0 m/s	0,8 m/s
07/07/2018	4 m/s	0,3 m/s	0,8 m/s
09/07/2018	0,4 m/s	0 m/s	0,3 m/s
23/07/2018	0,3 m/s	1 m/s	2,1 m/s

No entanto, tal só se verifica até ao ponto de medição 3, uma vez que, desse ao ponto ao local na Avenida 5 de Outubro (ponto E13), a temperatura mantém-se. Portanto, embora o local mais fresco e húmido (anomalias médias de temperatura iguais a 5°C e anomalias médias de humidade relativa superiores a -10%), corresponda, novamente, ao ponto mais próximo do

jardim, o local mais aquecido não é somente o mais afastado do jardim, mas sim os pontos E12 e E13 da Avenida (anomalias médias de temperatura do ar superiores a 4°C), sendo que o primeiro corresponde ao mais seco (anomalias médias de humidade relativa iguais a -20%).

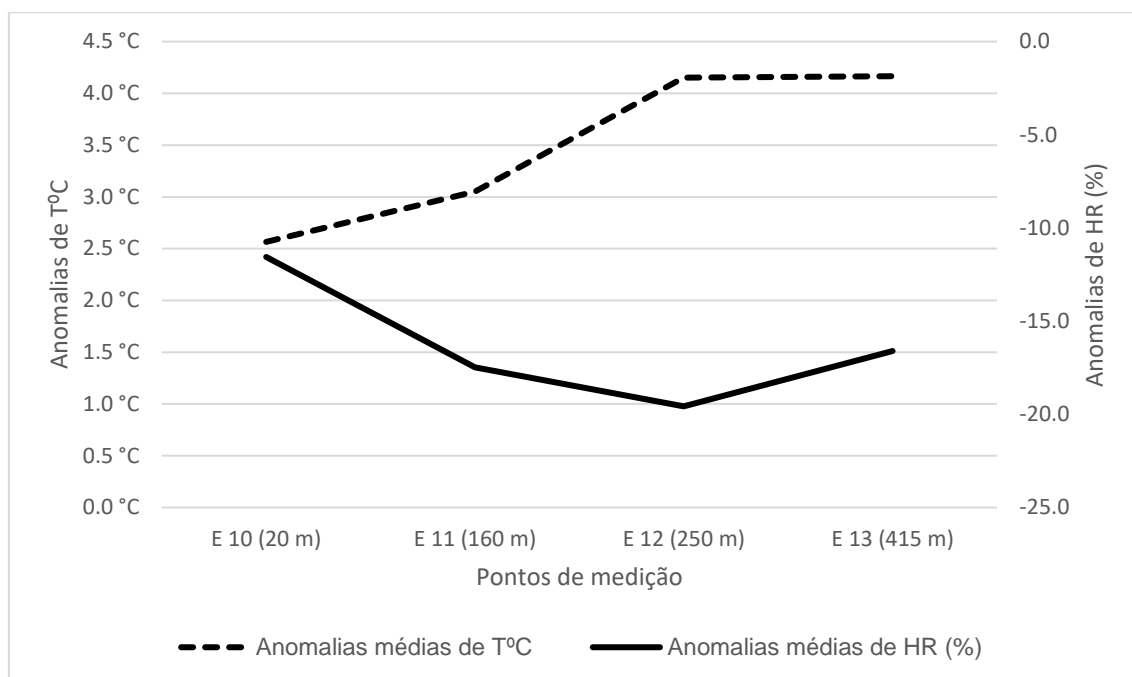


Figura 50 – Anomalias médias de temperatura do ar e humidade relativa no percurso a leste do Jardim da Gulbenkian, na Avenida Miguel Bombarda (2018). Nota: os pontos de medição são referentes aos pontos da figura 18

Ao mesmo tempo, o vento registado foi sempre fraco em todos os locais de medição e, por isso, não justifica as diferenças de temperatura.

Ruas com e sem vegetação

Tal como nos percursos dentro e fora do jardim da Gulbenkian, a análise das medições efetuadas numa rua com vegetação e noutra sem vegetação não tiveram em conta a classificação dos tipos de tempo.

Os quadros com as anomalias de temperatura e humidade relativa registadas em todos os dias de medição encontram-se no anexo 6.

Relativamente às diferenças entre o comportamento térmico da rua com vegetação (Avenida Defensores de Chaves) e da rua sem vegetação (Rua Actor Isidoro), verifica-se que, pela análise do gráfico da figura 51, em média, a temperatura é mais elevada, em todos os pontos de medição, na rua sem vegetação, sendo que as maiores diferenças se registam entre os pontos 2 e 3 (amplitude de aproximadamente 1°C). Para além disto, a temperatura, em ambas as ruas, subiu do ponto 1 ao 4, portanto, de norte para sul. No ponto 1, em ambas as ruas, as anomalias médias de temperatura foram inferiores a 3°C, enquanto no ponto 4 estiveram acima de 4°C, embora com algumas oscilações nos pontos intermédios. Assim, os locais mais frescos

correspondem aos pontos mais a norte (anomalias médias de 2,2°C na rua com vegetação e quase 2,5°C na rua sem vegetação), enquanto os locais mais quentes encontram-se mais a sul (anomalias médias de 4,8°C na rua sem vegetação e de 4,3°C na rua sem vegetação).

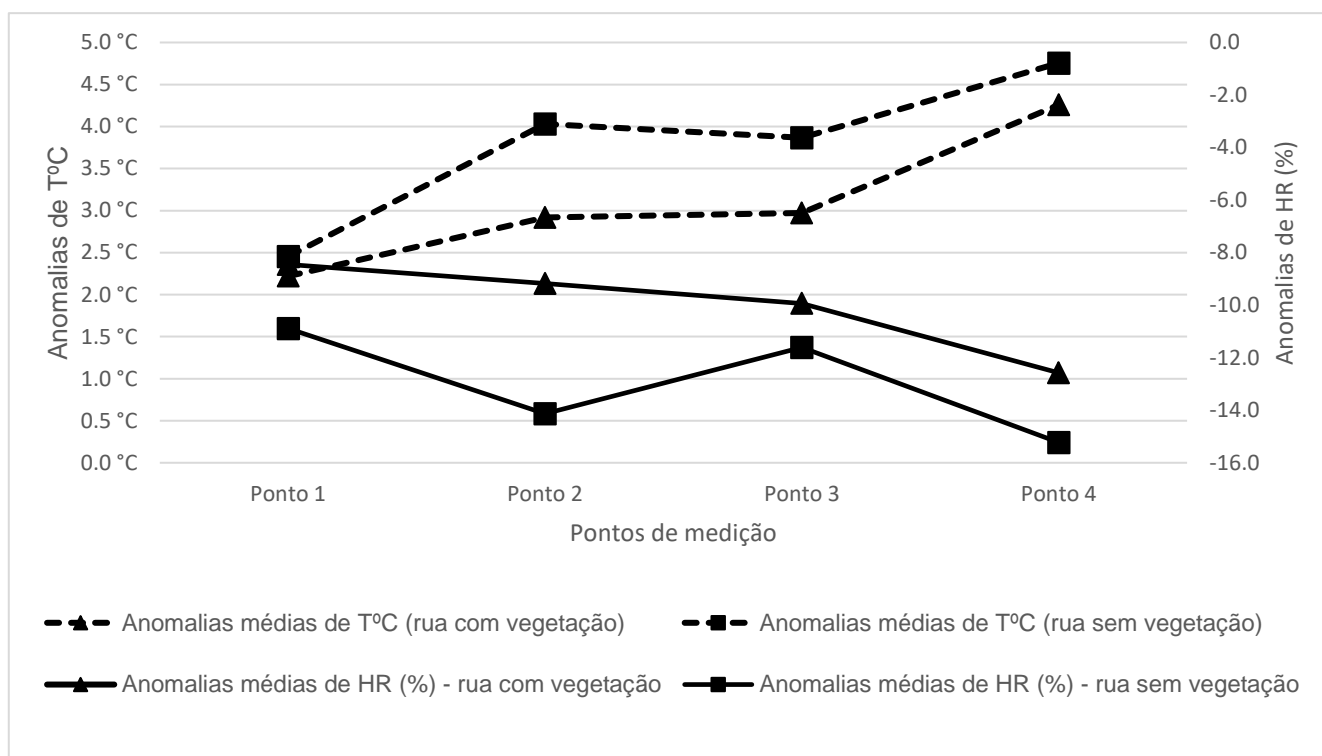


Figura 51 - Anomalias médias de temperatura do ar e humidade relativa numa rua com vegetação, na Avenida Defensores de Chaves, e numa rua sem vegetação, na Rua Actor Isidoro (2018). Nota: os pontos de medição são referentes aos pontos da figura 20

Já a humidade relativa tem um comportamento médio oposto ao da temperatura em ambas as ruas, tal como se observa no gráfico anterior. Em primeiro lugar, verifica-se, portanto, que a rua com vegetação é mais húmida que a rua sem vegetação em todos os locais de medição.

Considerando o comportamento médio do vento em todos os pontos de medição, constatou-se que este é sempre muito fraco e não permitiu justificar as diferenças de temperatura observadas em ambas as ruas.

5.3. Estimação do comportamento térmico dos espaços verdes

5.3.1. Interpolação da temperatura no Jardim da Gulbenkian

Apresenta-se de seguida a estimação e análise do comportamento térmico deste jardim e de toda a sua envolvente em condições meteorológicas distintas.

Relativamente ao exemplo ilustrativo de um dia do tipo de tempo 1 (20/05/2018), caracterizado por uma forte componente de radiação solar direta, ou seja, sem a presença de nuvens e vento calmo a fraco, segue-se a cartografia correspondente na figura 52.

Em primeiro lugar, é importante destacar a dicotomia O/NO – E/SE das temperaturas atmosféricas, sendo que, tanto a metade norte e noroeste do jardim como a sua área adjacente na mesma orientação encontram-se mais arrefecidas (anomalias, no geral, inferiores a 4°C) que a metade leste do jardim e toda a área a leste e sul do mesmo (anomalias ultrapassam os 5/6°C). Ao mesmo tempo, as medições do vento (expostas na tabela 34) confirmam a presente distribuição desta variável: as maiores velocidades médias foram registadas a oeste do jardim (percurso da Rua Ramalho Ortigão, cuja altitude vai aumentando do ponto 1 ao 3) e em toda a envolvente do mesmo, isto é, nos locais de medição mais próximos em todos os percursos.

Relativamente à interpolação das temperaturas num dia exemplificativo do tipo de tempo 2 (24/04/2018), apresenta-se o resultado obtido na figura 53.

Numa primeira análise, é possível observar que, em dias com nebulosidade e vento moderado a forte o interior do jardim e a sua área adjacente a norte e nordeste encontram-se mais arrefecidos (anomalias, no geral, até 4°C) do que as áreas a oeste, a sul e, sobretudo, a leste (anomalias atingem os 9°C nos pontos 2 e 3 da Avenida Miguel Bombarda).

A partir desta cartografia, é, ainda, notável constatar que a área a sul do jardim encontra-se ligeiramente mais fresca que a área a oeste e, principalmente, a leste. Na Avenida Miguel Bombarda, em particular na área junto aos pontos 2 e 3 das medições itinerantes, foram estimadas as maiores anomalias da temperatura do ar.

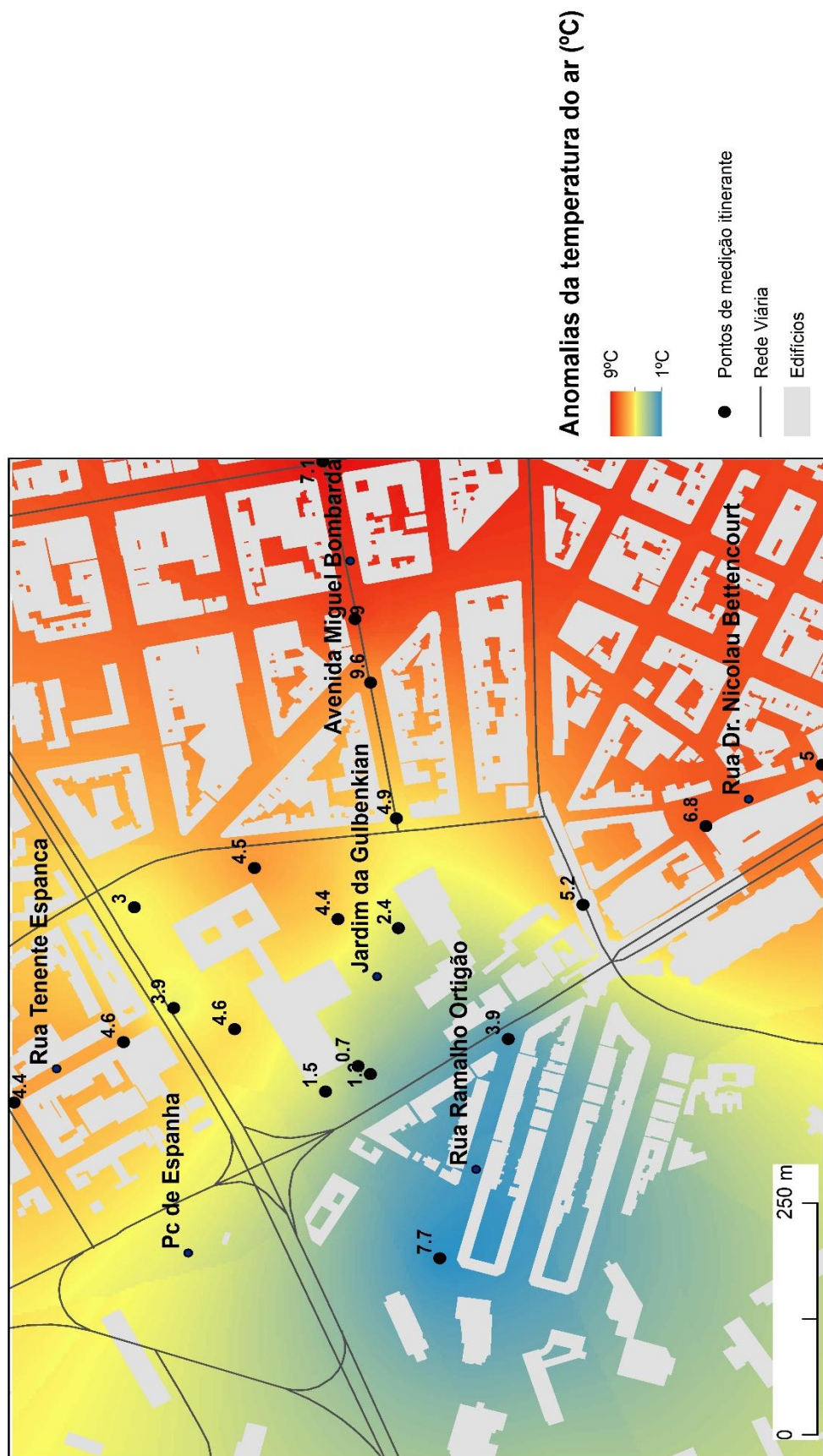


Figura 52 - Comportamento térmico do Jardim da Gulbenkian: situação ilustrativa do tipo de tempo 1 (20/05/2018). Fonte: Geodados, CML (informação sobre a rede viária e o edificado). Nota: as anomalias térmicas foram efetuadas entre os valores medidos e a estação de referência do IGOT.

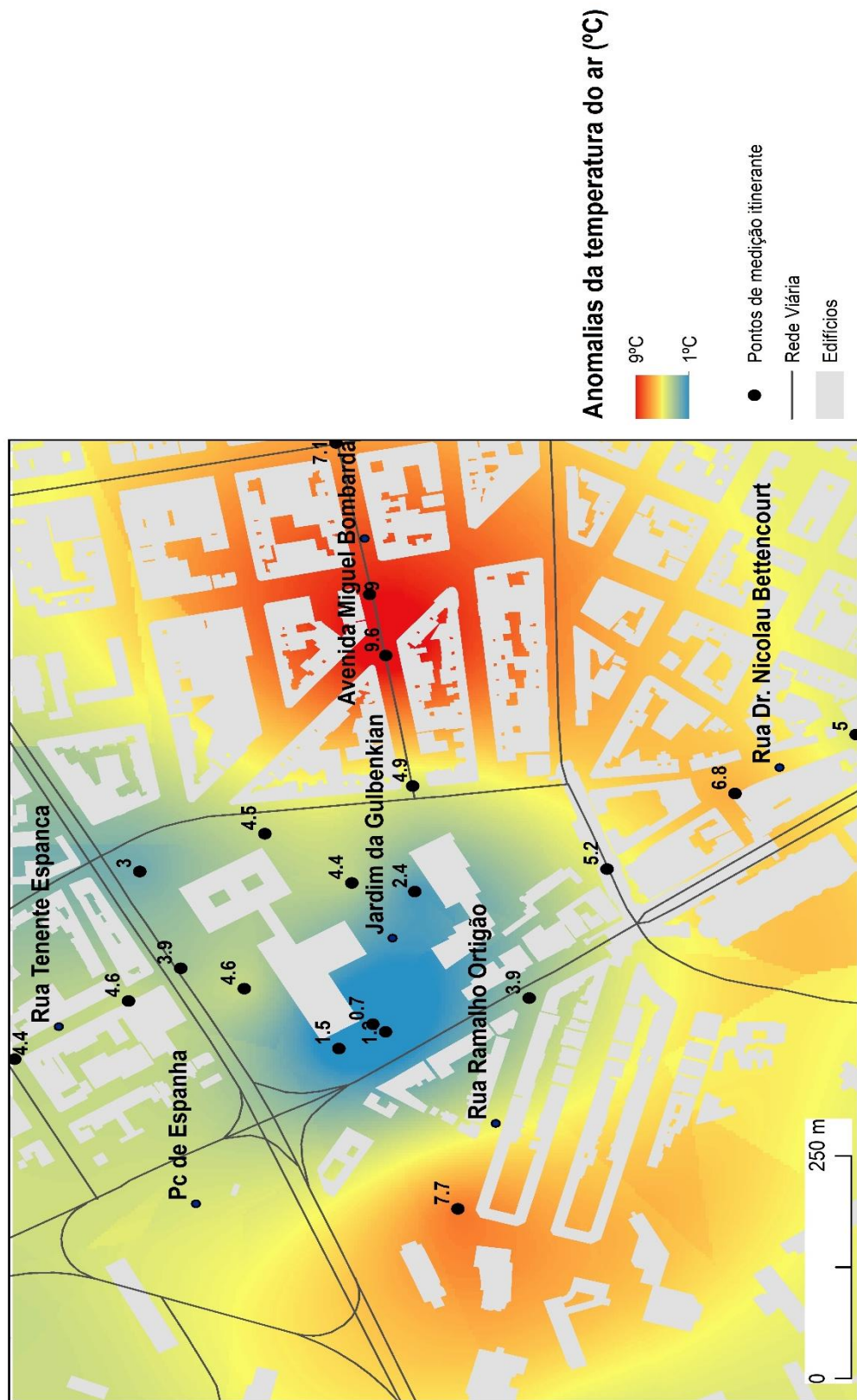


Figura 53 - Comportamento térmico do Jardim da Gulbenkian: situação ilustrativa do tipo de tempo 2 (24/04/2018). Fonte: Geodados, CML (informação sobre a rede viária e o edificado). Nota: as anomalias térmicas foram efetuadas entre os valores medidos e a estação da referência do IGOT

Estabelecendo uma correspondência entre o comportamento das temperaturas e a velocidade média do vento registada no mesmo dia em todos os pontos, constata-se que o local mais bem ventilado encontra-se a norte do espaço verde, onde se estimaram as menores anomalias da temperatura e, portanto, as temperaturas mais baixas, seguido do ponto 3 a sul do jardim. Este padrão pode ser explicado pelo efeito da vegetação e a continuidade da zona mais bem ventilada.

Por fim, a interpolação das temperaturas em dias do tipo de tempo 3 (09/07/2018), ou seja, dias chuvosos, dias com forte nebulosidade e vento fraco e, ainda, dias com forte nebulosidade e vento moderado a forte, está explícita na cartografia da figura 54.

É possível verificar que a área mais arrefecida corresponde ao interior do jardim, sobretudo a sua metade norte e oeste (anomalias até cerca de 3°C). Ao mesmo tempo, a área a sul deste espaço verde, mas não imediatamente na sua envolvência, encontra-se ligeiramente mais arrefecida que a restante área construída (anomalias inferiores a 3°C). Em contraste, os locais a oeste e noroeste do jardim encontram-se muito mais aquecidos, sobretudo a área (pontos 2 e 3, com anomalias superiores a 7°C) do percurso oeste (Rua Ramalho Ortigão).

Considerando o comportamento do vento no mesmo dia e momento (tabela 36), conclui-se que o interior do jardim é a área com a menor ventilação (calma atmosférica, exceto nos locais 1 e 6), seguido da área mais quente, a oeste do mesmo (as velocidades médias nunca atingem os 0,5 m/s). Pelo contrário, os percursos a leste e a norte do jardim registaram as maiores velocidades médias do vento, 1,9 m/s (no ponto 3) e 1,7 m/s (no local mais próximo do jardim), respetivamente.

Em suma, estabelecendo uma comparação entre os três comportamentos térmicos estimados verifica-se que em dias dos tipos de tempo 2 e 3 o Jardim da Gulbenkian encontra-se mais fresco que a área envolvente, enquanto em dias do tipo 1 apenas uma pequena porção (oeste) se encontra mais arrefecida. No exterior, as áreas mais arrefecidas localizam-se a oeste, em dias com forte radiação solar direta e situações de calma atmosférica, a norte em dias com forte radiação solar direta e vento moderado a forte, e a sul e leste em dias com precipitação, forte nebulosidade e vento fraco e dias com nebulosidade moderada a elevada e vento moderado a forte.

5.3.2. Estimação do potencial de arrefecimento do Jardim da Gulbenkian

Uma vez que, tal como foi referido no ponto 4.4.4.2., o modelo de regressão linear múltipla não produziu resultados estatisticamente significativos, neste ponto optou-se por apresentar e descrever os resultados relativos ao modelo de regressão linear simples, que correlaciona a densidade da vegetação (variável preditiva) e a temperatura do ar (variável independente).

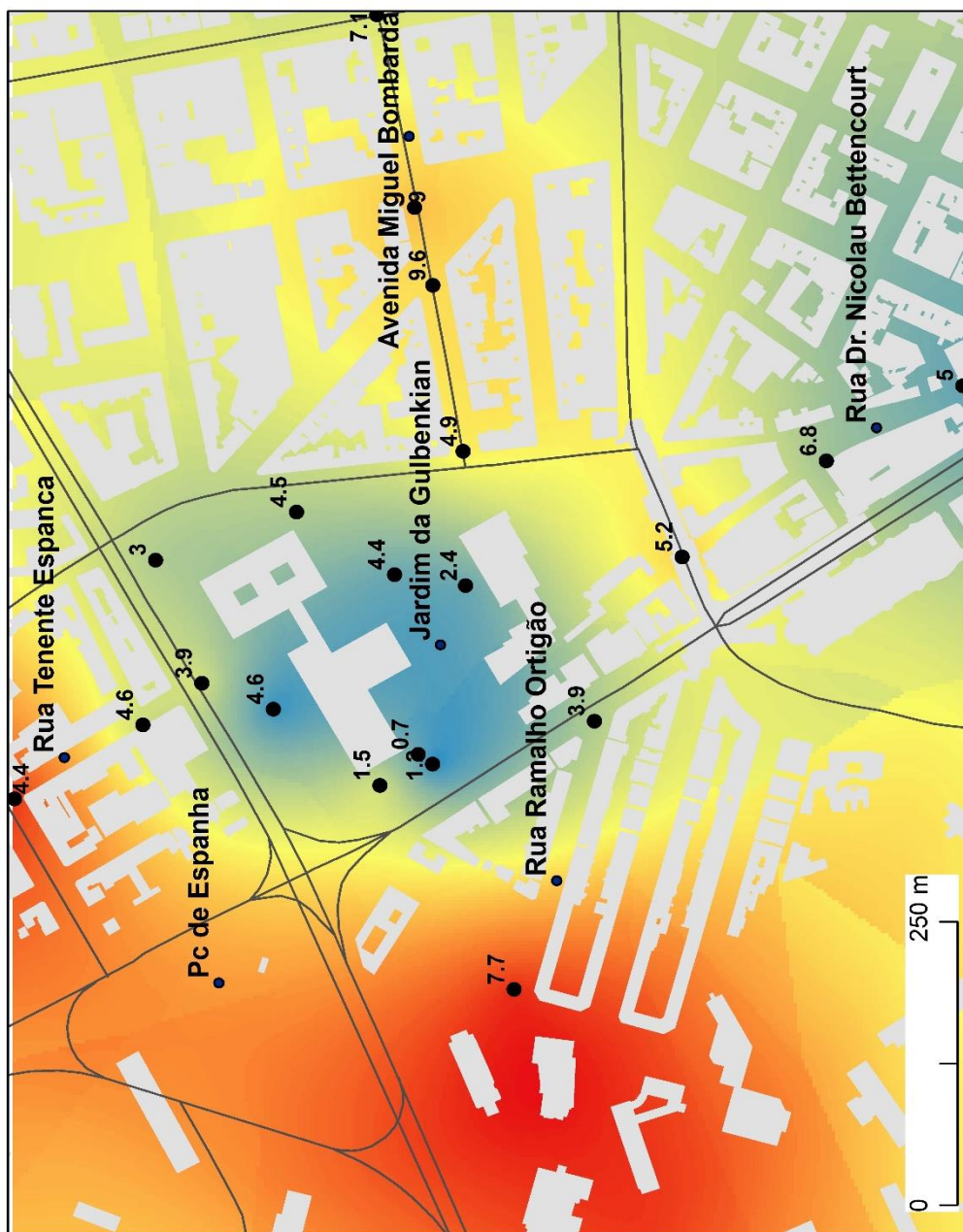


Figura 54 - Comportamento térmico do Jardim da Gulbenkian - situação ilustrativa do tipo de tempo 3 (09/07/2018). Fonte: Geodados, CML (informação sobre a rede viária e o edificado). Nota: as anomalias térmicas foram efetuadas entre os valores medidos e a estação de referência do IGOT

Para tal, foram geradas duas variações distintas do mesmo modelo, uma com a densidade da vegetação correspondente à biomassa do período de verão e outra com a densidade da vegetação referente à biomassa representativa do período de inverno. Quanto à temperatura, os dados utilizados correspondem, tal como foi referido anteriormente, à interpolação das temperaturas para um dia do tipo de tempo 1, espacializadas na figura 52.

Relativamente à densidade de núcleos de vegetação, apresentam-se as cartografias utilizadas nas figuras 55 e 56.

Como se pode verificar, o interior do jardim e a sua área envolvente a oeste apresentam uma maior densidade de vegetação em ambos os períodos do ano, embora durante o inverno as densidades sejam ligeiramente superiores às de verão (ver resultados e discussão da biomassa estimada nos pontos 5.1.2. e 6.1., respetivamente).

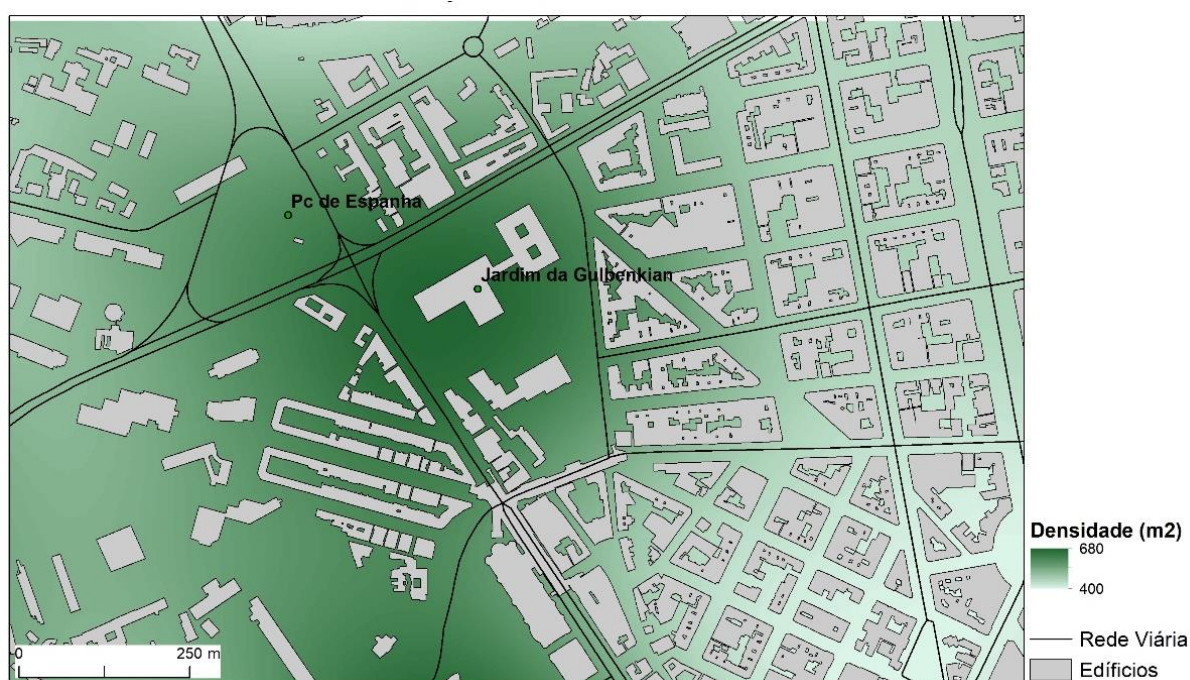


Figura 55 - Densidade de núcleos de vegetação (Kernel) no interior e na envolvente do Jardim da Gulbenkian - situação ilustrativa de verão. Fontes: imagem *Landsat 8* (17/07/2017), Geodados, CML (informação sobre a rede viária e o edificado)

As respetivas matrizes de correlação entre ambas as variações para os dois cenários apresentam-se nas tabelas 27 e 28.

Tal como se pode verificar, a correlação entre ambas as variáveis é sempre negativa e forte, sobretudo considerando a densidade de vegetação da situação de inverno (momento do ano em que a quantidade de vegetação no jardim é menor, mas não consideravelmente), embora a correlação entre a temperatura e a densidade de vegetação durante o verão seja considerada forte.



Figura 56 - Densidade de núcleos de vegetação (Kernel) no interior e na envolvente do Jardim da Gulbenkian - situação ilustrativa do período de inverno. Fontes: imagem *Landsat 8* (05/02/2016), Geodados, CML (informação sobre a rede viária e o edificado)

Tabela 27 - Matriz de correlação: Distância entre núcleos de vegetação (situação de verão) vs temperatura do ar (Jardim da Gulbenkian)

	Temperatura do ar	Distância entre núcleos de vegetação
Temperatura do ar	1	-0,74
Distância entre núcleos de vegetação	-0,74	1

Tabela 28 - Matriz de correlação: Distância entre núcleos de vegetação (situação de inverno) vs temperatura do ar (Jardim da Gulbenkian)

	Temperatura do ar	Distância entre núcleos de vegetação
Temperatura do ar	1	-0,83
Distância entre núcleos de vegetação	-0,83	1

Por estes motivos, construíram-se dois modelos de regressão linear, cujos resultados são apresentados nas figuras 57 e 58 e nas tabelas 29 e 30.

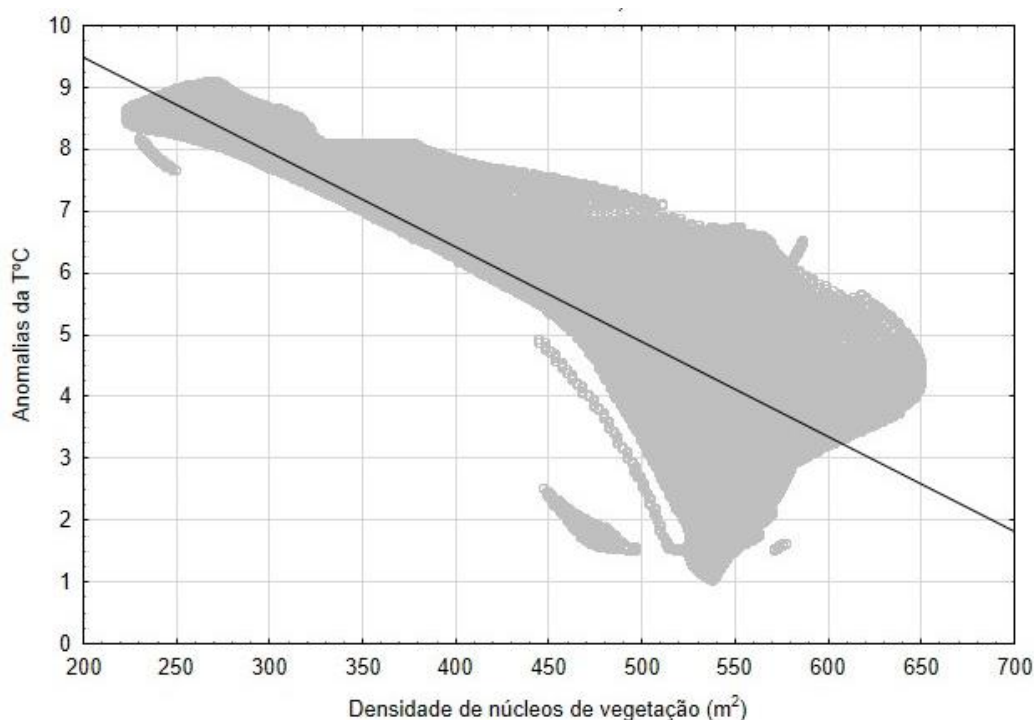


Figura 57 - Anomalias da temperatura do ar vs densidade de núcleos de vegetação (situação de inverno) no Jardim da Gulbenkian. Nota: as anomalias térmicas correspondem às diferenças de temperatura entre cada valor medido e a estação de referência do IGOT.

Tabela 29 - Regressão linear simples (temperatura do ar vs densidade de núcleos de vegetação): resultados (Jardim da Gulbenkian)

Equação da reta	$Y = 12,5708 - 0,0153 \cdot x$
Coefficiente de correlação (R)	-0,83
Coefficiente de determinação (R²)	0,7

Como se pode verificar, em ambas as situações representativas do verão e inverno a distribuição das variáveis aproxima-se da reta, sobretudo em diferenças de temperatura maiores e, portanto, menores densidades de vegetação. Com o declive da reta é possível determinar a quantidade de vegetação (no plano e não em volume) necessária para o aumento ou diminuição de 1°C na temperatura do ar. Sendo o declive negativo, verifica-se que para a diminuição (aumento) de 0,02°C na temperatura do ar é necessário um aumento (redução) de 1m² de vegetação, em ambos os modelos. Deste modo, quanto maior for a densidade de vegetação, mais baixa será a temperatura do ar. Para além disto, a correlação (R) entre as anomalias da temperatura do ar e a biomassa é negativa e muito forte, ou seja, 83% da variação das anomalias da temperatura no inverno e 74% no verão deve-se à vegetação. Ainda, o coeficiente de determinação demonstra mais de metade (cerca de 70% no inverno e 55%) da variação da

temperatura do ar dentro e fora do Jardim da Gulbenkian é explicada pela presença da vegetação.

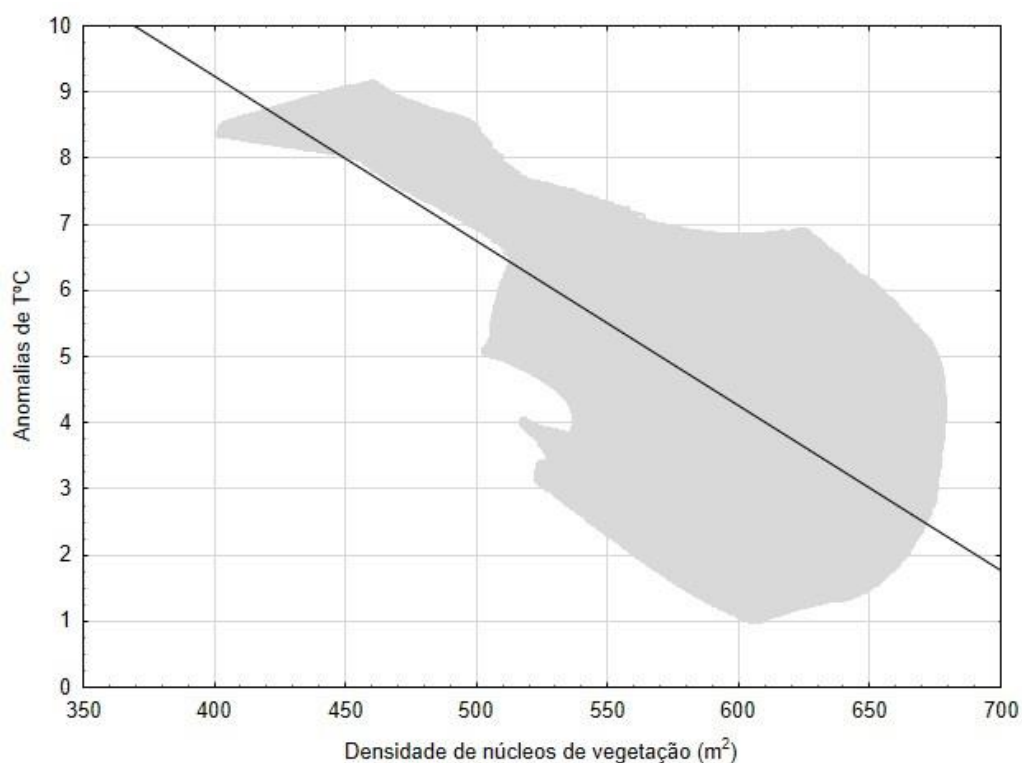


Figura 58 - Anomalias da temperatura do ar vs densidade de núcleos de vegetação (situação de verão) no Jardim da Gulbenkian. Nota: as anomalias térmicas correspondem às diferenças de temperatura entre cada valor medido e a estação de referência do IGOT.

Tabela 30 -Regressão linear simples (temperatura do ar vs densidade de núcleos de vegetação): resultados (Jardim da Gulbenkian)

Equação da reta	$y = 19,2162 - 0,0249 \cdot x$
Coefficiente de correlação (R)	- 0,74
Coefficiente de determinação (R²)	0,55

6. Discussão de resultados

6.1. A vegetação na cidade de Lisboa

Neste subcapítulo serão abordados os resultados relativos à caracterização do NDVI no interior e no exterior de um espaço verde (Jardim da Gulbenkian), bem como as cartografias de biomassa geradas para toda a cidade de Lisboa a partir de imagens de satélite.

Relativamente ao comportamento do NDVI, constatou-se, tal como seria de esperar, que o seu valor é muito superior no interior do jardim, comparativamente aos arredores, uma vez que na área construída envolvem predominam as superfícies impermeabilizadas e a vegetação é escassa, pelo que o NDVI se mantém relativamente baixo todo o ano. Pelo contrário, dentro do jardim, como é esperado, prevalecem os espaços ocupados por diferentes espécies vegetais. Pelo facto de cerca de 26% das plantas existentes no seu interior corresponderem a caducifólias, durante o período de inverno observa-se uma diminuição significativa do NDVI (queda de folha), que volta a subir na estação mais quente.

Tendo-se comprovado em estudos anteriores que o NDVI e a biomassa estão fortemente correlacionados entre si (exemplos: Calvão & Palmeirim, 2004), o comportamento relativamente semelhante de ambas as variáveis no interior do jardim da Gulbenkian ao longo do ano fica, portanto, explicado, uma vez que a biomassa, no presente estudo, foi estimada a partir deste índice de vegetação, pelo que as oscilações mensais do NDVI também se refletem na variação da massa verde do jardim.

No que toca à quantidade de biomassa estimada para Lisboa, verificou-se que, no geral, na estação de inverno os seus valores são superiores aos do verão em todos os modelos aplicados. No entanto, de acordo com Soares (2006), as árvores de arruamento existentes em Lisboa correspondem sobretudo a caducifólias, juntamente com cerca de 42% das árvores presentes em jardins públicos. Para perceber um pouco melhor os motivos que explicam tal resultado, torna-se relevante analisar as características de cada um dos modelos testados.

Em primeiro lugar, todos os autores recorreram a amostras de campo, quer para gerar o modelo final, quer para calibrá-lo. Quanto às imagens de satélite utilizadas para a estimação da biomassa, apenas Filella et al. (2004) não recorreram a este tipo de dados, enquanto Calvão & Palmeirim (2004) e Pereira et al. (1995) utilizaram imagens do *Landsat 5* e, por fim, Chang & Shoshany (2016) recorreram a imagens de dois satélites, o *Sentinel-1* e o *Sentinel-2*, gerando um modelo final de fusão entre ambas. Relativamente às características da área onde foram desenvolvidos tais estudos, todos foram aplicados em locais com climas mediterrânicos, sendo que dois deles foram testados em Portugal.

Quanto aos modelos testados fora do país, por um lado, Filella et al. (2004) cujo modelo gerou a menor quantidade de biomassa total em Lisboa, para ambas as situações de inverno e verão, procuraram estimar a biomassa da floresta mediterrânica no Parque Natural Garraf, em Barcelona. Mais recentemente, Chang & Shoshany (2016) procederam ao mapeamento das florestas mediterrânicas, localizadas nas zonas de transição climática que representam vários ambientes mediterrânicos. Nestas áreas, a precipitação total anual varia entre os 200 e os

600mm, sendo, portanto, na maior parte dos casos, inferior à precipitação média anual registada em Lisboa. Ainda assim, conseguiram um modelo robusto (com um coeficiente de correlação de 0,86).

No que concerne os estudos realizados em Portugal, Pereira et al. (1995) estimaram a quantidade de biomassa existente no Parque Natural da Serra d'Aire e Candeeiros, no centro do país, um espaço com cerca de 37000 ha, altitudes compreendidas entre os 50 e os 680m, temperatura média anual de 14,8°C e precipitação (846mm) superior à da média anual para a cidade de Lisboa. Concluíram que a melhor estimação da massa verde ($r=0,76$) obtém-se recorrendo ao NDVI. Por último, Calvao & Palmeirim (2004), cujo modelo estimou a maior quantidade de biomassa total em Lisboa durante a estação de inverno, procuraram estimar a massa verde de uma única espécie (*Cistus*) no sudoeste de Portugal, em Mértola, área do país com níveis de precipitação inferiores à área de estudo. Estes autores constataram que 74% da biomassa estimada está contida em 50% das medições de campo efetuadas, tendo concluído que o modelo gerado se adequa à estimação da biomassa da espécie em questão.

Para além disto, os modelos foram aplicados a toda a vegetação da cidade sem discriminação do estrato ou espécie. Pela análise da biomassa referente às árvores de arruamento, verificou-se que a sua quantidade é maior no verão e não no inverno (queda da folhagem, logo existe menor quantidade de biomassa), tal como seria de esperar, visto que se isolou-se o estrato arbóreo da vegetação, ao contrário da biomassa existente em toda a cidade ou apenas em espaços verdes, onde se incluem extensas áreas cobertas por espécies herbáceas (relvados), algumas delas não sendo regadas frequentemente. Portanto, o resultado obtido para a cidade é influenciado por estas espécies de menor porte, que se encontram muito mais secas no verão (biomassa é menor nesta estação) do que no inverno. Por este motivo, considera-se pertinente proceder à estimação da massa verde por estratos da vegetação ou por espécie.

Procurando estabelecer um paralelo com outros estudos que tenham estimado a biomassa em áreas urbanas, Raciti et al. (2014) geraram uma cartografia de alta resolução da biomassa das espécies arbóreas na cidade de Boston (EUA). Durante o processo de cálculo, os mesmos autores excluíram os valores de NDVI inferiores a 0,1 (enquanto no presente estudo foram deixados de parte todas as células com NDVI inferior a 0,15), considerando que acima deste limiar a quantidade de vegetação é suficientemente significativa para ser incluída na análise e tendo estimado um valor médio de biomassa para a cidade de 1,3kg/m², resultado que se aproxima da biomassa média estimada para a Lisboa a partir do modelo de Chang & Shoshany, (2016) e da média dos modelos de Filella et al. (2004), Pereira et al. (1995) e Chang & Shoshnay (2016) para as duas estações do ano. De acordo com os mesmos autores, o mapeamento da vegetação urbana pode fornecer informação relevante ao planeamento do território, nomeadamente no que concerne a mitigação da IUC.

Do mesmo modo, Goh et al. (2011) apresentaram um método para a estimação da biomassa em grandes áreas metropolitanas a partir de imagens do satélite *SPOT 5*. Para tal utilizaram como área de estudo todos os espaços verde geridos em Singapura, correspondendo a mais de 42000 ha, tendo concluído que a biomassa total destas áreas (excluindo árvores nas bermas da estrada e áreas de reserva natural) corresponde a 4kg/m², valor muito superior ao da biomassa média estimada para a cidade de Lisboa em todos os modelos, tanto de inverno como de verão.

Apesar disto, são escassos os estudos que tenham procurado estimar a biomassa total de uma área urbana, principalmente não fazendo distinção entre espécies vegetais.

6.2. Comportamento térmico dos espaços verdes na cidade de Lisboa

6.2.1. Jardins de média dimensão (Jardim da Gulbenkian)

Análise do comportamento térmico do interior do jardim

Tendo sido analisado o comportamento térmico de um jardim de média dimensão em Lisboa, em particular o jardim da Gulbenkian, relativamente às temperaturas médias horárias, verificou-se que, no geral, o seu interior encontra-se mais fresco que a sua área envolvente, em todas as condições meteorológicas registadas na cidade. De facto, a sua dimensão e composição vegetal poderão explicar isto. Quanto ao primeiro fator, é de realçar que dos 8,5ha que se encontram ocupados por este espaço verde, mais de 70%, isto é, cerca de 6ha correspondem a vegetação. Neste sentido, vários estudos comprovaram que quanto maior o espaço verde e, portanto, a área ocupada efetivamente por vegetação, maiores serão as diferenças de temperatura entre o mesmo e os arredores e maior será a sua distância de influência (Chang et al., 2007; Dimoudi & Nikolopoulou, 2003; Eliasson & Upmanis, 2000; Georgi & Zafiriadis, 2006; Makhelouf, 2009; Shashua-Bar & Hoffman, 2000; Shashua-Bar et al., 2009; Spronken-Smith & Oke, 1998; Streiling & Matzarakis, 2003; Monteiro et al., 2016; Zoulia et al., 2009). Para além disto, e, relativamente ao tipo de vegetação, no interior deste jardim cerca de 34% corresponde a espécies arbóreas, na maioria perenifólias, enquanto 31% correspondem a herbáceas, sendo a quase totalidade também de folha persistente. Tal como foi referido no capítulo da revisão da literatura, as espécies arbóreas têm revelado maior potencial de arrefecimento, comparativamente às espécies arbustivas ou, mesmo, espécies herbáceas, como a relva (Cao et al., 2010; Hamada & Ohta, 2010), uma vez que as últimas arrefecem o ar apenas através do processo de evapotranspiração, enquanto as restantes produzem, também, efeito de sombra (Bowler et al., 2010). Daqui se poderá inferir, e a partir das medições itinerantes efetuadas, que no interior do jardim podem observar-se distintas realidades térmicas motivadas pelas diferenças entre, por um lado, espaços com maior densidade de espécies arbóreas e arbustivas (sobretudo de grande porte), e, portanto, ensombrados durante todo ou quase todo o dia e mais abrigados dos ventos dominantes, correspondendo, por sua vez, aos locais mais frescos no interior do jardim e aos mais húmidos, e, por outro lado, os espaços mais abertos, particularmente os relvados, com um SVF mais elevado, recebendo radiação solar direta durante todo ou quase todo o dia, encontram-se, portanto, mais secos que os anteriores, embora sejam regados (durante a estação mais quente do ano e sempre de madrugada).

Por outro lado, e, tendo em conta as diferenças e o comportamento térmico de espaços cobertos por vegetação e superfícies impermeabilizadas igualmente cobertas por plantas, destaca-se o instrumento instalado no telhado do edifício principal, que recebe radiação solar direta durante todo o dia, absorvendo grande parte da mesma e libertando-a durante a noite, pelo que, de acordo com Andrade & Vieira (2005, 2007), o seu arrefecimento noturno pode ser parcialmente compensando pela libertação de calor do edifício. Os mesmos autores também

instalaram um instrumento no telhado verde deste jardim e verificam que as temperaturas durante o período diurno superam fortemente as temperaturas de outros locais dentro do jardim compostos por vegetação arbórea mais densa. Embora este telhado se encontre coberto por espécies rasteiras (*greenroof*), segundo Lopes (2008), a vegetação ao nível do solo e, em particular, as árvores são preferidas aos telhados com vegetação, devido à maior variedade de espécies que podem ser utilizadas, ao efeito de arrefecimento da atmosfera junto ao solo, à filtragem do ar e ao efeito-sombra. Para além disso, apesar deste telhado verde, de acordo com a informação fornecida pelos serviços de jardinagem do jardim, ser regado cerca de três vezes por semana, e, segundo Spronken-Smith et al. (2000) e Taha et al., (1991) a irrigação possa produzir um efeito de arrefecimento, uma vez que se dá um incremento da evapotranspiração, neste caso, esta não é suficiente para que as temperaturas igualem as de locais compostos por vários estratos de vegetação.

Analisando as diferenças térmicas no interior do jardim nos vários tipos de tempo, a interpolação das temperaturas registadas nas medições itinerantes revelou um comportamento inesperado uma vez que a quase totalidade deste espaço verde encontra-se mais arrefecida que o exterior em dias com fraca nebulosidade mas com vento moderado a forte e em dias com forte nebulosidade (e possível ocorrência de precipitação) e grande variabilidade em termos de velocidades médias do vento, enquanto que, em dias com céu limpo ou poucas nuvens e vento nulo a fraco, apenas a metade oeste do jardim apresenta anomalias de temperatura mais reduzidas, sendo que a metade leste se aproxima da área a norte do jardim, em termos de comportamento térmico. As possíveis explicações para este comportamento passam pelo facto de, por um lado, apenas se ter utilizado dados de um único dia para a interpolação das temperaturas, assumindo-se, à partida, que este é ilustrativo do tipo de tempo em causa, quando, na realidade, poderá não o ser. Por outro lado, a classificação dos tipos de tempo utilizada é relativamente genérica, englobando dias com condições meteorológicas que poderão produzir efeitos diferenciados no comportamento térmico dos espaços verdes.

Análise dos contrastes térmicos no exterior do jardim

Considerando as diferenças entre os contrastes nos vários tipos de tempo analisados, em dias com forte insolação direta e vento, no geral, fraco, as áreas a oeste e nordeste do jardim encontram-se muito mais frescas que as áreas a norte, sul e, sobretudo leste. Embora o vento seja mais fraco ou, por vezes, nulo, as suas velocidades incrementam em locais mais elevados topograficamente, como é o caso da área a oeste do jardim (correspondente a uma pequena colina) onde se realizaram as medições itinerantes. Relativamente às áreas mais aquecidas, os resultados dos aparelhos fixos e da interpolação das temperaturas (a partir das medições itinerantes) são contraditórios.

O potencial de arrefecimento do jardim da Gulbenkian

Quantificando o efeito de arrefecimento deste jardim, a PCI máxima registada superou os valores máximos obtidos por Andrade & Vieira (2005, 2007) no mesmo espaço verde. No entanto, tendo em conta que 75% da PCI encontra-se sempre abaixo dos 3°C (intensidades relativamente fracas), os valores máximos poderão corresponder a situações esporádicas em que o jardim está muito mais fresco que a envolvente ou, pelo contrário, o exterior encontra-se anormalmente quente relativamente ao jardim. Neste caso, as PCI superiores a 10°C ocorreram, principalmente, em dias onde as temperaturas foram muito elevadas fora do jardim, o que explica as maiores amplitudes de variação. Ao mesmo tempo, são já vários os estudos que demonstram que o efeito de arrefecimento dos espaços verdes é superior em dias com temperaturas mais elevadas (Oliveira et al., 2011; Shashua-Bar & Hoffman, 2000b). Para além disso, as condições meteorológicas com intensidades tão elevadas como as que se registaram corresponderam, na quase totalidade dos casos, a dias com forte nebulosidade (e possível ocorrência de precipitação) e com ou sem vento, situação contrária ao que era esperado e à ideia defendida por Spronken-Smith & Oke, 1998, de que os contrastes térmicos entre um espaço verde e a sua área envolvente desenvolvem-se sobretudo em condições de estabilidade atmosférica (semelhantes às IUC), isto é, fraca nebulosidade e vento fraco ou calma atmosférica. Por este motivo, são necessários mais estudos acerca das condições ideais para o desenvolvimento de fortes contrastes térmicos entre os espaços verdes e a sua envolvente.

Importa realçar que a PCI máxima registada neste jardim suplanta, por um lado, os valores registados em espaços verdes de maiores dimensões noutras cidades em Portugal, como é o caso da PCI registada (6,6°C) num jardim em Coimbra com cerca de 15,5 ha (Leal et al., 2008) e da PCI no parque da cidade de Guimarães (7,5°C), com cerca de 30 ha (Teles, 2013) e, por outro lado, as PCI registadas em jardins de outras cidades com características climáticas semelhantes a Lisboa. Segue-se como exemplo o estudo de Spronken-Smith & Oke, 1998, que registaram uma PCI máxima de 6,5°C em espaços verdes (com dimensões entre os 2 e os 15 ha) da cidade de Sacramento (EUA), com um clima mediterrâneo. Esta intensidade máxima supera, ainda, a evidência de que os espaços verdes nas latitudes médias encontram-se até 5°C mais frescos que o exterior (Oke, 1989, citado por Spronken-Smith & Oke, 1998), embora considerando a PCI média, os valores já se enquadrem neste cenário.

Relativamente ao momento do dia em que tais intensidades máximas se verificaram, destacaram-se o meio do dia (tal como Shashua-Bar & Hoffman, 2000), o período da tarde (tal como defendem Ali (2013), Barradas (1991), Souch & Souch (1993), Colunga et al. (2015), Ren et al. (2013), Spronken-Smith & Oke (1998) e Tan et al. (2016) e algumas horas de madrugada. Pelo contrário, em todos os tipos de tempo analisados, existiram momentos em que o jardim esteve mais quente que o exterior, sendo que as intensidades mínimas ocorreram em dias, tal como era de esperar, do tipo de tempo 3 (dias com fraca radiação solar direta), e durante o dia, ao contrário da bibliografia analisada (Chang & Li, 2014; Taha et al., 1991).

Analisando a intensidade das PCI por estações do ano, verificou-se que a intensidade máxima ocorreu em dias de primavera, ao contrário da maior parte dos estudos que efetuaram a mesma análise, registando intensidades mais elevadas em dias de verão (Cohen et al., 2012; Hamada & Ohta, 2010; Lee et al., 2009; Makhelouf, 2009; Oliveira et al., 2011; Shashua-Bar & Hoffman,

2000; Susca et al., 2011; Yang et al., 2017; Zhang et al., 2013), embora se deva considerar que o número de dias de verão analisados neste estudo foi reduzido. Em comparação, Andrade & Vieira (2005, 2007) registaram no mesmo jardim contrastes térmicos superiores em dias de verão, embora tenham analisado o período de outono em vez da primavera.

No entanto, uma análise mais fina da variação da PCI por estações do ano e por tipos de tempo revela que em dias com céu limpo ou poucas nuvens e vento nulo a fraco, as maiores intensidades (bem como a PCI média) registaram-se durante o inverno, enquanto nos restantes tipos de tempo analisados, as intensidades médias e máximas ocorreram em dias de primavera. De toda a bibliografia analisada, apenas Ganho (1996) registou contrastes térmicos superiores em dias de inverno em espaços verdes de Coimbra.

Considerando as diferenças entre o período diurno e o período noturno, o facto de o jardim estar sempre mais fresco que a área envolvente, sendo a PCI mais intensa em todos os tipos de tempo durante o dia (possivelmente devido ao menor SVF sob as árvores), é concordante com grande parte dos resultados obtidos em estudos sobre a mesma temática (Cohen et al., 2012; Oliveira et al., 2011; Shashua-Bar et al., 2009; Yang et al., 2017). Ainda assim, são evidentes algumas diferenças se se considerar as condições de tempo locais, uma vez em dias com fraca nebulosidade e vento nulo a fraco (maior estabilidade atmosférica) a maior intensidade da PCI registou-se de noite, enquanto nas restantes condições meteorológicas as intensidades máximas ocorreram durante o dia.

Distâncias máximas de arrefecimento

Relativamente à distância máxima a que se sente este efeito de arrefecimento, recorreu-se aos perfis de temperatura efetuados a partir dos dados dos instrumentos fixos e às medições itinerantes realizadas em todos os quadrantes do jardim.

A sul do jardim, de acordo com os perfis elaborados, a temperatura vai aumentando à medida que a distância ao jardim aumenta, logo, pelo menos, até cerca de 300 m é evidente a influência do jardim na área exterior (ponto fixo Sul II (E), mais afastado do jardim). Contudo, de acordo com as medições itinerantes, o aumento da temperatura com o aumento da distância ao jardim não é linear.

A norte do jardim, apenas foi instalado um aparelho fixo, embora se verifique que o mesmo está, normalmente, mais quente que o interior do jardim, incluindo, e, sobretudo, que o aparelho a nordeste mais próximo deste (NE (I)). Pela análise das medições itinerantes, em nenhum ponto coincidentes com o aparelho fixo a norte do jardim, verificou-se que a influência do jardim na área envolvente não se estende até ao ponto mais afastado do mesmo, a cerca de 190 m, uma vez que a temperatura desce entre o local de medição anterior e este. De facto, o ponto mais afastado do jardim corresponde a um cruzamento com uma rua arborizada de orientação O-E (múltipla interceção de espaços verdes), incrementando as velocidades do vento, que fazem descer a temperatura, sendo esta ligeiramente inferior à temperatura do ponto mais próximo na mesma rua, que se encontra mais húmido comparativamente aos locais nº2 e 3º, devido à proximidade da vegetação irrigada frequentemente.

Portanto, a influência do jardim para norte estende-se, com maior segurança, até, pelo menos, 90m (ponto de medição nº2, a meio da rua).

Já a leste do jardim, verificou-se que, em dias com forte insolação e grande variabilidade em termos de velocidade média do vento (tipos de tempo 1 e 2), a temperatura do ar vai subindo à medida que a distância ao mesmo aumenta, mas tal só se verifica até ao ponto nº2 da Avenida, que se encontra acerca de 160 metros, uma vez que, a partir daqui, a temperatura desce até ao ponto nº3 da mesma rua e volta a subir. De facto, ambos os instrumentos nº2 e 3 apresentam um comportamento inesperado em dias com fraca nebulosidade e tal poderá dever-se, tal como foi referido anteriormente, à sua localização. Pelo contrário, em dias do tipo de tempo 3, os resultados obtidos a partir das medições fixas coincidem, em termos gerais, com as medições itinerantes efetuadas, isto é, o efeito de arrefecimento do jardim sente-se, ao contrário do que seria de esperar, a uma maior distância, até ao instrumento nº3 da Avenida Miguel Bombarda, sendo que, entre esse local e o local mais afastado a temperatura desce ligeiramente (ou mantém no caso das medições itinerantes) e tal poderá dever-se ao facto de o instrumento nº4 estar localizado numa avenida (5 de Outubro) com uma orientação N-S, estando, portanto, sob a influência dos ventos dominantes de norte, que se encontra arborizada, pelo que as temperaturas serão, como esperado, mais baixas.

Por fim, a oeste do jardim apenas se efetuaram medições itinerantes, tendo-se verificado que a temperatura vai subindo com o aumento da distância ao jardim, enquanto a humidade relativa apresenta um comportamento exatamente oposto, como seria de esperar, sendo que o ponto mais quente e mais seco é o ponto mais afastado mas tal poderá dever-se, tal como referido anteriormente, ao facto de a rua escolhida apresentar uma variação altitudinal ligeira. Portanto, o local mais quente (a cerca de 450m de distância do jardim) é também o ponto mais elevado topograficamente (a diferença altitude entre o ponto nº1 da rua Ramalho Ortigão e o ponto nº3 é de cerca de 24m) e mais bem ventilado, correspondendo a uma pequena colina com um SVF superior ao dos restantes locais na mesma rua (os edifícios envolventes são em menor quantidade e de menor altura) e com alguma vegetação na proximidade, embora seja sobretudo rasteira. Logo, a oeste deste espaço verde, a sua influência atinge, com maior segurança, pelo menos os 200m. No entanto, a subida das temperaturas no ponto mais afastado poderá estar relacionada com as características do local em si e não o efeito de arrefecimento do jardim.

Em suma, é importante realçar a grande variabilidade espacial e temporal das distâncias máximas de arrefecimento proporcionado por este espaço verde, tal como afirmam Venhari et al. (2017) e Andrade (2003).

6.2.2. Jardins de pequena dimensão (Jardim Fernando Pessa)

Análise dos contrastes térmicos interior-exterior do jardim

Contrariamente ao que se verificou no jardim da Gulbenkian, no jardim Fernando Pessa, o instrumento instalado no seu interior registou temperaturas ligeiramente mais elevadas, em grande parte do dia, que o instrumento no exterior, embora as diferenças térmicas entre ambos

sejam muito reduzidas. Por um lado, este espaço verde é composto por vegetação e superfícies impermeabilizadas (equipamentos coletivos e passeios pedonais), sendo que os espaços ajardinados correspondem a um pouco mais de 50% da área total do jardim (no jardim da Gulbenkian correspondem a cerca de 70%). Destes, ao contrário do jardim de maiores dimensões, a grande maioria corresponde a relvados, nomeadamente o local onde foi instalado o aparelho de medição da temperatura e humidade relativa (junto a um passeio pedonal/superfície impermeabilizada e um relvado, no centro do jardim). Embora a vegetação aqui presente seja regada no período mais quente do ano (sensivelmente, entre maio e setembro) e alguns autores refiram que a irrigação da relva pode produzir um efeito de arrefecimento (Spronken-Smith et al., 2000; Taha et al., 1991) também já se comprovou que, em algumas situações, as temperaturas mais elevadas registam-se no interior dos jardins compostos principalmente por espécies herbáceas (relva) e não na área construída envolvente (Souch & Souch, 1993; Teles, 2013; Fung & Jim, 2017; Gago et al., 2013; Lee et al., 2016; Ng et al., 2012; Potchter et al., 2006; Yang et al., 2017; Yu, et al., 2018).

Para além disto, este espaço verde encontra-se numa posição de abrigo, rodeado por edifícios em todos os quadrantes, com cerca de 18m de altura média, recebendo radiação solar direta mais cedo que o instrumento no exterior (Avenida de Roma). Relativamente a este ponto, instalado numa rua arborizada com orientação NO-SE e, portanto, mais frequentemente sob a influência dos ventos dominantes, logo as temperaturas durante o dia tendem a ser ligeiramente mais baixas, exceto durante o final da tarde e durante a noite em dias com céu limpo ou fraca nebulosidade e vento nulo a fraco, devido à acumulação de calor que é libertado no período noturno.

Tal como no jardim da Gulbenkian e como já se comprovou em estudos anteriores, os maiores contrastes térmicos neste jardim ocorrem, não só, mas também nas horas em que as temperaturas atmosféricas são mais elevadas/picos máximos de temperatura diários.

O efeito de arrefecimento do jardim

Tal como se verificou, as PCI média e máxima são muito inferiores às registadas no Jardim da Gulbenkian. Relativamente ao primeiro parâmetro, constatou-se que o jardim, em média, encontra-se mais quente que o exterior, o que está de acordo com vários estudos que concluíram que os espaços verdes compostos maioritariamente ou exclusivamente por relva e com porções consideráveis de pavimentos/superfícies impermeabilizadas, que absorvem mais energia em comparação à vegetação (caraterísticas comuns a este jardim), não são tao eficazes no arrefecimento da temperatura do ar (Andrade, 2003; Souch & Souch, 1993; Teles, 2013; Fung & Jim, 2017; Gago et al., 2013; Grimmond et al., 1996; Lee et al., 2016; Ng et al., 2012; Oliveira et al., 2011; Potchter et al., 2006; Shashua-Bar et al., 2009; Vasconcelos & Vieira, 2011; Yu et al., 2017), podendo estar mais quentes que os seus arredores. Outros motivos para o facto de a PCI máxima ser muito mais reduzida que a PCI do Jardim da Gulbenkian poderão prender-se com, por um lado, a sua dimensão, muito inferior (1,7 ha contra 8,5 ha no outro jardim), sendo que, de acordo com Andrade (2003), a influência de pequenos espaços verdes sobre a temperatura do ar é muito limitada, e, por outro lado, as caraterísticas do exterior do jardim, em particular do local onde foi instalado o instrumento fixo.

Ainda assim, a intensidade máxima registada está de acordo com as afirmações de Oke (1989), citado por Spronken-Smith & Oke (1998) de que os espaços verdes nas latitudes médias encontram-se, normalmente, 1°C a 2°C mais frescos que os seus arredores, podendo a PCI atingir os 3°C e, sob condições ideais, os 5°C. De igual modo, Potchter et al. (2006) e Shashua-Bar & Hoffman (2000) registaram PCI máximas próximas deste resultado, em Tel-Aviv (Israel), com um clima mediterrâneo (alguma proximidade climática à realidade lisboeta). O primeiro estudo decorreu num espaço verde com 0,15 ha, tendo sido registada uma PCI média de 2,8°C e máxima de 4°C, enquanto o segundo estudo analisou o efeito de arrefecimento de um jardim com 2,8 ha de dimensão. No entanto, estudos efetuados em dois jardins de reduzida dimensão em Lisboa, o Jardim Braancamp Freire (2,3 ha) e o Jardim Teófilo Braga (0,24 ha), registaram PCI máximas muito superiores ao Jardim Fernando Pessa, 8°C (Oliveira et al., 2008) e 6,9°C (Oliveira et al., 2011), respetivamente.

Como seria de esperar e, ao contrário do que se observou no Jardim da Gulbenkian, as maiores intensidades da PCI ocorreram em noites do tipo de tempo 1, isto é, condições meteorológicas caracterizadas por céu limpo ou fraca nebulosidade e vento nulo a fraco, sendo estas, segundo a bibliografia, os momentos ideais para o desenvolvimento de acentuados contrastes térmicos entre um espaço verde e a sua área envolvente. Relativamente ao momento do dia, também Chen & Wong, 2006, Doick et al., 2014, Li & Norford, 2016, Ping et al., 2016, Spronken-Smith & Oke, 1998, Monteiro et al., 2016 e Zoulia et al., 2009, registaram PCI máximas durante o período noturno. No entanto, a maioria dos estudos efetuados concluiu exatamente o oposto, sendo que as diferenças térmicas noturnas encontradas foram menos evidentes (Andrade & Vieira, 2005, 2007). O facto de a PCI neste jardim ser mais intensa e positiva durante a noite poderá explicar-se pela acumulação de calor junto do instrumento instalado no exterior (Avenida de Roma) devido à predominância de superfícies impermeabilizadas (estradas, passeios e edifícios), sendo este libertado durante o período noturno e fazendo com que as temperaturas não desçam na mesma proporção do interior do jardim.

Já a estação do ano em que tal se sucedeu não está de acordo com o outro jardim de maiores dimensões nem com a maioria dos trabalhos que avaliaram a variação sazonal do efeito de arrefecimento dos espaços verdes (registaram maiores contrastes térmicos no verão, enquanto que, neste jardim a PCI máxima é mais reduzida nesta estação para todos os tipos de tempo analisados), embora se deva considerar que a amostra recolhida apenas incluiu parte da estação de inverno, a totalidade da primavera, onde se registaram, na quase totalidade dos casos as maiores PCI, e uma parte do verão, pelo que poderá não ser representativa da performance térmica deste jardim e do jardim da Gulbenkian.

Pelo contrário, os momentos em que o jardim esteve consideravelmente mais quente que o exterior (PCI igual ou inferior a -3°C) coincidiram, como seria de esperar e como se verificou no outro jardim, com dias em que se esperam contrastes térmicos mais atenuados, isto é, dias do tipo de tempo 3 (nebulosidade moderada a forte, com possível ocorrência de precipitação e grande variabilidade em termos de velocidade média do vento), o que se poderá dever ao efeito de abrigo provocado pelo jardim.

6.2.3. Ruas arborizadas

Caraterização térmica das diferenças entre uma rua com vegetação e outra sem vegetação

Tal como se verificou nas medições efetuadas, a temperatura, em todos pontos de medição, é sempre inferior na rua arborizada, tal como seria de esperar, pelo que se confirma a influência das árvores de grande porte instaladas no centro da Avenida Defensores Chaves no arrefecimento da temperatura do ar. As diferenças térmicas máximas encontradas atingiram os 3,7°C no ponto 2 de ambas as ruas. Embora sejam mais escassos os trabalhos dedicados à influência de árvores isoladas ou ruas arborizadas, apresenta-se como exemplo, mais uma vez, o estudo de Shashua-Bar & Hoffman (2000), onde se analisou o comportamento térmico de várias ruas arborizadas com orientação N-S, em Tel Aviv (Israel), tendo registado um arrefecimento médio entre 1,3°C e um pouco mais de 3°C, a meio da tarde (15h). Em Lisboa, Soares (2006), tal como foi referido no capítulo da revisão da literatura, efetuou medições de parâmetros climáticos em ruas e avenidas, algumas delas próximas dos espaços verdes analisados na presente dissertação e uma outra rua (Elias Garcia) que cruza a Avenida Defensores de Chaves, tendo registado uma redução de 9°C na Avenida Sacadura Cabral (junto ao jardim Fernando Pessa) e concluído que a influência do arvoredo na temperatura do ar pode ser muito significativa e depende da espécie.

Ao mesmo tempo, é importante realçar que, em ambas as ruas analisadas no presente estudo, a temperatura vai aumentando de norte para sul, o que se poderá justificar pela influência dos ventos dominantes na cidade de Lisboa (norte), que poderão condicionar o arrefecimento da extremidade norte destas ruas. No entanto, deve ter-se em conta que a altitude varia de forma inversa nas mesmas, isto é, na Avenida Defensores de Chaves (rua arborizada) o ponto mais a norte (mais fresco) encontra-se relativamente mais baixo que o ponto mais quente, a sul (variação altitudinal de cerca de 12m), enquanto na Rua Actor Isidoro (rua sem vegetação) o ponto mais arrefecido é também o ponto mais elevado topograficamente e o local de medição mais a sul corresponde ao ponto mais baixo e mais quente, registando-se uma variação altitudinal ligeiramente superior (17m) à da rua anterior.

Também o comportamento da humidade relativa, por definição de variação oposta à temperatura do ar, em ambas as ruas (a Avenida Defensores de Chaves encontra-se, em todos os locais medição, mais húmida que a Rua Actor Isidoro) confirma os resultados obtidos em estudos anteriores, isto é, o facto de os espaços compostos por vegetação encontram-se, geralmente, mais húmidos do que as áreas maioritariamente impermeabilizadas (Andrade, 2003; Barradas, 1991; Teles, 2013; Oliveira et al., 2008; Potchter et al., 2006; Shashua-Bar et al., 2009; Spronken-Smith & Oke, 1998; Streiling & Matzarakis, 2003). É interessante, ainda, verificar, que esta variável climática acompanha a variação da temperatura de norte para sul em ambas as ruas, isto é, os pontos mais frescos são os mais húmidos e a humidificação da atmosfera vai decrescendo para sul.

Por fim, as velocidades médias do vento registadas (calma ou geralmente fracas) não permitiram estabelecer uma relação sólida com os dados de temperatura e humidade relativa registados em ambas as ruas.

6.3. O potencial de arrefecimento dos espaços verdes lisboetas

Não sendo possível realizar medições de parâmetros climáticos em todos os espaços verdes existentes na cidade, procurou encontrar-se uma correlação entre o efeito de arrefecimento dos jardins-amostra e as suas características (nomeadamente a quantidade de vegetação) bem como os fatores urbanos. Embora a análise dos contrastes térmicos entre os espaços verdes e os seus arredores seja um tema recorrente na atualidade, são poucos os estudos que tenham procurado a força e o sentido desta relação.

O indicador da vegetação (biomassa) dentro e fora do jardim da Gulbenkian introduzido no modelo mostrou-se útil na estimação do potencial de arrefecimento dos espaços verdes em ambiente urbano. De facto, muitos dos estudos que procuraram avaliar a influência da vegetação na redução das temperaturas atmosféricas recorreram ao NDVI para a representar. A título de exemplo, Feyisa et al. (2014) estudaram 21 espaços verdes em Addis Ababa (Etiópia) e procuraram avaliar a relação entre as características da vegetação e a temperatura do ar observada, tendo registado uma relação positiva entre a PCI e o NDVI e concluído que o efeito de arrefecimento é determinado sobretudo pelo tipo de espécie, pela cobertura arbórea, dimensão e forma do espaço verde. No caso do modelo gerado, a biomassa registou o maior contributo na redução da temperatura do ar, motivo pela qual também se optou por elaborar um modelo mais simples, testando apenas a relação entre a temperatura e a quantidade de massa verde no interior e nos arredores do jardim da Gulbenkian. Verificou-se que grande parte da variação da temperatura do ar dentro e fora do jardim se deve à quantidade de vegetação existente (representada pela densidade de núcleos de vegetação), e portanto, quanto maior a biomassa, menor será a temperatura do ar e maior será o efeito de arrefecimento do jardim, pelo que a escolha do tipo de vegetação a integrar num espaço verde apresenta especial relevância, uma vez que diferentes espécies produzem diferentes quantidades de biomassa. Com efeito, as características da vegetação têm-se revelado fatores determinantes no efeito de arrefecimento dos espaços verdes. Monteiro et al. (2016) destacam a área ocupada por espécies arbóreas e por relva, enquanto Potchter et al. (2006) verificaram que os espaços verdes compostos por coberturas arbóreas amplas, densas e altas registaram o maior efeito de arrefecimento durante as horas de maior calor, ao contrário dos jardins compostos por relva e escassas árvores estiveram mais quentes que a área envolvente, sobretudo durante o período diurno, como já foi demonstrado.

Quanto ao modelo testado (utilizando apenas como variável preditiva a densidade da vegetação), verificou-se que o recurso a um método estatístico ajustado à biomassa produz resultados mais satisfatórios do que o volume de vegetação (por cada aumento da vegetação em 1 m² observa-se uma redução de 0,02°C na temperatura do ar). De facto, a técnica de densidade de Kernel permitiu uma transformação estatística da espacialização da biomassa, gerando um gradiente de vegetação que se correlaciona melhor com a temperatura do ar. Posto isto, torna-se relevante aprofundar o estudo da relação entre estas duas variáveis com vista à aplicação da presente metodologia para o conjunto das áreas verdes na cidade.

7. Conclusões

No presente trabalho procedeu-se à caracterização do comportamento térmico de alguns espaços verdes e arruamentos (Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian, Jardim Fernando Pessa, Avenida Defensores vs Rua Actor Isidoro), com vista a estimação do seu potencial de arrefecimento para todas as áreas verdes da cidade de Lisboa.

Procurando responder às questões de partida propostas inicialmente, sumarizam-se os principais resultados obtidos:

1. Como se caracteriza o comportamento dos espaços verdes no ambiente térmico envolvente?
 - Relativamente ao jardim da Gulbenkian, verificou-se que em todas as condições meteorológicas estudadas o seu interior esteve, no geral, mais fresco do que os arredores, sobretudo nos locais com vegetação arbórea e arbustiva densa, embora se deva ter em atenção que a escolha dos locais para a instalação dos instrumentos condiciona os resultados obtidos.
 - O interior do Jardim Fernando Pessa esteve sempre mais aquecido que o instrumento instalado na Avenida de Roma, embora as diferenças entre ambos sejam mínimas e quase sempre inferiores à precisão dos aparelhos de medição utilizados.
 - Quanto às duas ruas analisadas, verificou-se que a rua arborizada (Avenida Defensores de Chaves) esteve sempre mais fresca que a Rua Actor Isidoro, embora em ambas as ruas a temperatura suba de norte para sul, fruto da provável influência dos ventos de norte na cidade.
2. Os jardins conseguem arrefecer o ar da área em que se localizam? E qual a intensidade da PCI)
 - Quanto ao Jardim da Gulbenkian, constatou-se que este espaço verde tem, de facto, influência na área envolvente em quase todos os casos, visto que a intensidade máxima da PCI atingiu os 11,6°C e, em média, o jardim esteve 2,2°C mais fresco que o exterior. No entanto, as maiores intensidades não se registaram nas condições meteorológicas esperadas, isto é, em dias com céu limpo calma atmosférica ou vento fraco mas sim em dias com forte nebulosidade e vento nulo a fraco ou dias com forte nebulosidade, mas vento moderado a forte, ou ainda, dias chuvosos, tendo-se constatado em estudos anteriores que estas condições reduzem a intensidade do arrefecimento das áreas verdes. Por este motivo, torna-se necessário aprofundar o estudo dos tipos de tempo que promovem o maior potencial de arrefecimento proporcionado pelos espaços verdes.
 - No Jardim Fernando Pessa verificou-se que a capacidade de diminuição da temperatura do ar é muito menor que o jardim anterior e também muito menos frequente. A intensidade máxima da PCI registada foi de 3,5°C, porém o jardim esteve, em média, 0,2°C mais quente que o exterior.
 - Considerando que no Jardim da Gulbenkian a vegetação ocupa cerca de 70%, enquanto no Jardim Fernando Pessa representa apenas 54% da área total, e que no primeiro espaço verde 65% da vegetação corresponde a espécies arbóreas e arbustivas, ao passo que no jardim mais pequeno os relvados representam 80% das

áreas cobertas por vegetação, pode concluir-se que o potencial de arrefecimento de um espaço verde depende, não só da sua dimensão, mas também da quantidade e do tipo de vegetação presente no seu interior, sendo que as espécies de maior porte (arbóreas e arbustivas), arrefecem o ar envolvente a partir do processo de evapotranspiração e do efeito-sombra, enquanto as espécies herbáceas, tão presentes no jardim Fernando Pessa, arrefecem o ar apenas através do primeiro processo.

- Relativamente às ruas estudadas, a Avenida Defensores de Chaves esteve, em média 1°C mais fresca que a Rua Actor Isidoro e as diferenças máximas atingiram os 3,7°C. Embora o efeito de pequenos clusters de árvores no centro das ruas seja menor que os dos jardins analisados, é considerado significativo, sobretudo tendo em conta o efeito-sombra proporcionado pelas espécies de grande porte instaladas no centro da avenida.
3. Até que distância se sente este efeito de arrefecimento? / Como varia este efeito de arrefecimento com o aumento da distância aos jardins?
- No Jardim da Gulbenkian, de forma geral, as distâncias máximas de arrefecimento registaram uma grande variabilidade espacial e temporal.
 - a sul do jardim, de acordo com a rede micrometeorológica instalada, a influência na temperatura do ar estende-se até, pelo menos, 300 m, enquanto que, segundo as medições itinerantes efetuadas, o aumento da temperatura com o aumento da distância ao jardim não é linear;
 - a norte, o efeito do jardim estendeu-se até, pelo menos, 90 m;
 - a leste, na maior parte dos casos, a influência do jardim estendeu-se até 250 m (entre o ponto 3 e 4 da Avenida Miguel Bombarda observou-se o efeito das árvores localizadas no centro da Avenida 5 de Outubro);
 - a oeste, a influência do jardim estendeu-se até, pelo menos, 200m.
4. Quais os fatores que conseguem explicar este efeito de arrefecimento?
- Tendo sido apenas possível avaliar a influência da vegetação no comportamento térmico dos espaços verdes, verificou-se que a sua correlação é forte e negativa, isto é, quanto maior a quantidade de vegetação, mais baixas serão as temperaturas.
 - Para além disto, constatou-se que a densidade da vegetação se correlaciona mais fortemente com a temperatura que o volume de massa verde.
5. Que quantidade de biomassa é necessária para a redução de 1°C na temperatura do ar?
- Embora não tenha sido possível quantificar esta relação, numa primeira abordagem constatou-se que uma área de 1m² ocupada por vegetação consegue arrefecer o ar em 0,02°C, considerando que as temperaturas analisadas correspondem às diferenças entre um ponto de medição e um ponto fixo (estação de referência) e não às temperaturas efetivamente registadas num dado local.

Para além das conclusões obtidas no presente trabalho é importante realçar as suas limitações. Relativamente à estimação da biomassa, os modelos utilizados não foram construídos tendo em conta as particularidades topográficas e climáticas da cidade de Lisboa, pelo que serão necessários ajustes de modo a que se adequem à área de estudo, uma vez que a quantidade e o tipo de vegetação variam de local para local. Para além disto, não foi possível a recolha de amostras de campo que permitiriam a validação dos resultados estimados e a calibração dos modelos. Ainda, a estimação da biomassa a partir de modelos baseados em imagens de satélite ou outras plataformas de deteção remota acarreta inúmeras limitações, associadas às características do próprio satélite, à resolução das imagens, entre outras.

Quanto aos dados climáticos recolhidos, considera-se que o número de instrumentos fixos instalados poderá não ser suficiente para analisar plenamente a influência do jardim na área envolvente (sobretudo a oeste, onde não foram instalados aparelhos, tendo sido feitas apenas medições itinerantes) e a amostra obtida é reduzida, não tendo abrangido por completo a estação mais quente do ano, onde se espera um maior potencial de arrefecimento dos jardins e onde este é mais relevante numa ótica de mitigação da IUC na cidade e de melhoria das condições de saúde e conforto humano.

Por fim, a classificação dos tipos de tempo utilizada no presente estudo foi elaborada a partir de dados de nebulosidade com várias lacunas, tendo agrupado condições meteorológicas que poderão ter distintos efeitos na capacidade dos espaços verdes arrefecerem o ar, sobretudo considerando o tipo de tempo 3 que agregou dias com e sem precipitação e com e sem vento, uma vez que se considerou que a nebulosidade tem um efeito preponderante no potencial de arrefecimento.

Considerando que o presente trabalho serve como ponto de partida para a estimação do potencial de arrefecimento dos espaços verdes lisboetas, seria interessante avaliar futuramente a validade da biomassa estimada e aplicar a metodologia apresentada à restante cidade a partir da rede meteorológica urbana mais densa que será instalada. Para além disto, considera-se relevante aperfeiçoar a classificação dos tipos de tempo.

8. Bibliografia

- AboElata, A. A. A. (2017). Study the Vegetation as Urban Strategy to Mitigate Urban Heat Island in Mega City Cairo. *Procedia Environmental Sciences*, 37: 386–395. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.004>
- Abreu, D. J. B. (2006). Análise de dados II. Programa. Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa.
- Aflaki, A., Mirnezhad, M., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., Omrany, H., Wang, Z. H., & Akbari, H. (2017). Urban heat island mitigation strategies: A state-of-the-art review on Kuala Lumpur, Singapore and Hong Kong. *Cities*, 62: 131–145. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.003>
- Akbari, H., Davis, S., Dorsano, S., Huang, J., Winnett, S., (1992). Cooling our communities. A Guidebook on Tree Planting and Light-Colored Surfacing. U.S. Environmental Protection Agency, Pittsburgh.
- Akbari, H., Kolokotsa, D. (2016). Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research. *Energy and Buildings*, 133: 834–852. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.067>
- Alcoforado, M. J., Vieira, H. (2004). Informação climática nos planos directores municipais de concelhos urbanos. *Sociedade e Território*, (March): 103–118.
- Alcoforado, M. J., Andrade, H., Lopes, A., & Oliveira, S. (2007). A ilha de calor em Lisboa. Aquisição de dados e primeiros resultados estatísticos para aplicação ao ordenamento urbano. *Geophilia - o Sentir e Os Sentidos Da Geografia Homenagem a Jorge Gaspar*.
- Alcoforado, M. J., Andrade, H., Lopes, A., Vasconcelos, J., Vieira, R. (2006). Observational studies on summer winds in Lisbon (Portugal) and their influence on daytime regional and urban thermal patterns. *Merhavim*, 6: 90-112.
- Alcoforado, M. J. (1992). O Clima da Região de Lisboa. Contrastes e Ritmos térmicos. Memórias do Centro de Estudos Geográficos, n.º 15, Lisboa, 347 p.
- Alcoforado, M. J. (1996). Ambiances bioclimatiques estivales de quelques espaces verts de Lisbonne. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 9, pp. 273-280.
- Alcoforado, M. J. (2008). Weather and Recreation at the Atlantic shore near Lisbon, Portugal. A study on Applied Local Climatology. Retrieved from <http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>
- Alcoforado, M. J. (2010a). *Assessing and Modeling the Urban Climate in Lisbon. Geographical Information and Climatology*. <https://doi.org/10.1002/9781118557600.ch5>
- Alcoforado, M. J. (2010b). *Climatologia Urbana para o Ensino*. Relatório 3. Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Alcoforado, M. J., Andrade, H. (2006). Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology*, 84(1):151-159 ; DOI: 10.1007/s00704-005-0152-1
- Alcoforado, M. J., Andrade, H., Lopes, A., & Vasconcelos, J. (2009). Application of climatic guidelines to urban planning. The example of Lisbon (Portugal). *Landscape and Urban Planning*, 90(1–2): 56–65. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.006>

- Alcoforado, M. J., Andrade, H., Oliveira, S., Festas, M. J., & Rosa, F. (2009b). Alterações climáticas e desenvolvimento urbano: 1–92.
- Alcoforado, M. J., Lopes, A., Alves, E. D. L., & Canário, P. (2014). Lisbon heat island statistical study (2004-2012).
- Alcoforado, M. J., Lopes, A., Andrade, H., Vasconcelos, J. (2005). *Orientações climáticas para o ordenamento em Lisboa*. Alcoforado M J, Lopes A, Andrade H, Vasconcelos J, Vieira R. Retrieved from http://www.ceg.ul.pt/urbklim/Relatorio_4_Climlis.pdf
- Alcoforado, M. J., Lopes, A., Andrade, H. (2015). Urban Climatic maps studeis in Portugal in “The urban climatci maps”, Edward Ng and Chao Ren (Editors), Routledge, 6: 209-236
- Ali, M. (2013). the Contribution of Urban Green Spaces in the Regulation of the Microclimate and the Improvement of the Air Quality in Cities. *Asian Journal of Current Engineering and Maths*: 190–195. Retrieved from <http://innovativejournal.in/index.php/ajcem/article/view/172>
- Alves, E. D. L., & Lopes, A. (2017). The urban heat island effect and the role of vegetation to address the negative impacts of local climate changes in a small Brazilian City. *Atmosphere*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/atmos8020018>
- Andrade, H. (2003). Bioclima humano e temperatura do ar em Lisboa. Tese de Doutoramento em Geografia Física apresentada à Faculdade de Letras da Univerisdade de Lisboa. Universidade de Lisboa, Lisboa. 435p.
- Andrade, H. (2005). O Clima Urbano - Natureza, escalas de análise e aplicabilidade. *Finisterra*, 40(80): 67–91.
- Andrade, H., Lopes, A. (1998). A utilização de um SIG para a estimação das temperaturas em Lisboa. *Clima y ambiente urbano en ciudades Ibéricas e IberoAmericanas*. Parteluz, Madrid: 85-91
- Andrade, H., & Rute Vieira. (2005). *Estudo climático de um espaço verde de Lisboa: o Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian*. Relatório nº5. Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa.
- Andrade, H., & Vieira, R. (2007). A climatic study of an urban green space: The Gulbenkian Park in Lisbon, Portugal. *Finisterra*, XLII(84): 27–46.
- Anguluri, R., & Narayanan, P. (2017). Role of green space in urban planning: Outlook towards smart cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 25(April), 58–65. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.04.007>
- Armson, D., Stringer, P., & Ennos, A. R. (2012). The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. *Urban Forestry and Urban Greening*, 11(3): 245–255. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.05.002>
- Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 23(1), 1–26. <https://doi.org/10.1002/joc.859>
- Bao, T., Li, X., Zhang, J., Zhang, Y., & Tian, S. (2016). Assessing the Distribution of Urban Green Spaces and its Anisotropic Cooling Distance on Urban Heat Island Pattern in Baotou, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5(2), 12. <https://doi.org/10.3390>

- Barradas, V. L. (1991). Air temperature and humidity and human comfort index of some city parks of Mexico City. *International Journal of Biometeorology*, 35(1): 24–28. <https://doi.org/10.1007/BF01040959>
- Barradas, V. L., Ecologia, C. De, Ecológica, L. D. F., Postal, A., & Universitaria, C. (1991). Air temperature and humidity and human comfort index of some city parks of Mexico City. *Int J Biometeorol*, 35:24-28
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3): 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>
- Bridgman, H. A., Oliver, J. E. (2006). *The Global Climate System Patterns, Processes, and Teleconnections*. Cambridge University Press, New York.
- Bueno-bartholomei, C. L., & Labaki, L. C. (2010). How much does the change of species of trees affect their solar radiation attenuation. *International Conference on Urban Climate*, 5: 267–270.
- Buyadi, S. N. A., Wan Mohd, W. M. N., Misni, A. (2014). Quantifying Green Space Cooling Effects on the Urban Microclimate using Remote Sensing and GIS Techniques. Sensing and GIS Techniques, (6897). FIG Congress 2014, Engaging the Challenges – Enhancing the Relevance, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Calheiros, T., Dias, L., Marreiros, S., Lourenço, T. C., Santos, F. D., & Carvalho, S. (2016). Ficha Climática Lisboa, 4. Retrieved from http://climadaptlocal.pt/wpcontent/uploads/2016/09/ficha_lisboa.pdf
- Calisto, L. F. P. B. (2011). Avaliação da Aptidão de Parques de Recolha de Biomassa na Província de Manica, Moçambique. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Sistemas de Informação Geográfica, Tecnologias e Aplicações. Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Calvão, T., & Palmeirim, J. M. (2004). Mapping Mediterranean scrub with satellite imagery: Biomass estimation and spectral behaviour. *International Journal of Remote Sensing*, 25(16), 3113–3126. <https://doi.org/10.1080/01431160310001654978>
- Câmara Municipal de Lisboa (2010). *Guia ilustrado de vinte e cinco árvores de Lisboa*.
- Câmara Municipal de Lisboa. (2012). *Biodiversidade na Cidade de Lisboa: uma estratégia para 2020 / Documento técnico*.
- Câmara Municipal de Lisboa (2010). Relatório síntese de Caracterização Biofísica de Lisboa no âmbito da Revisão do Plano Director Municipal de Lisboa. Disponível em: <http://www.cm-lisboa.pt/viver/urbanismo/planeamento-urbano/plano-diretormunicipal/pdm-em-vigor/estudos-de-caracterizacao>
- Cao, X., Onishi, A., Chen, J., & Imura, H. (2010). Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. *Landscape and Urban Planning*, 96(4): 224–231. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.03.008>
- Chang, C. R., & Li, M. H. (2014). Effects of urban parks on the local urban thermal environment. *Urban Forestry and Urban Greening*, 13(4): 672–681. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.08.001>

- Chang, C. R., Li, M. H., & Chang, S. D. (2007). A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks. *Landscape and Urban Planning*, 80(4): 386–395. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.09.005>
- Chang, J., Shoshany, M. (2016). Mediterranean shrublands biomass estimation using Sentinel-1 and Sentinel-2. 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Beijing, 2016: 5300-5303; doi: 10.1109/IGARSS.2016.7730380
- Chen, X., Su, Y., Li, D., Huang, G., Chen, W., & Chen, S. (2012). Study on the cooling effects of urban parks on surrounding environments using Landsat TM data: A case study in Guangzhou, southern China. *International Journal of Remote Sensing*, 33(18): 5889–5914. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.676743>
- Chen, Y., & Wong, N. H. (2006). Thermal benefits of city parks. *Energy and Buildings*, 38(2), 105–120. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.04.003>
- Cheng, X., Wei, B., Chen, G., Li, J., & Song, C. (2015). Influence of Park Size and Its Surrounding Urban Landscape Patterns on the Park Cooling Effect. *Journal of Urban Planning and Development*, 141(3), A4014002. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000256](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000256)
- Chow, W. T. L., Akbar, S. N. A. B. A., Heng, S. L., & Roth, M. (2016). Assessment of measured and perceived microclimates within a tropical urban forest. *Urban Forestry and Urban Greening*, 16: 62–75. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.01.010>
- Chow, W. T. L., Pope, R. L., Martin, C. A., & Brazel, A. J. (2010). Observing and modeling the nocturnal park cool island of an arid city: Horizontal and vertical impacts. *Theoretical and Applied Climatology*, 103(1): 197–211. <https://doi.org/10.1007/s00704-010-0293-8>
- Cohen, P., Potchter, O., & Matzarakis, A. (2012). Daily and seasonal climatic conditions of green urban open spaces in the Mediterranean climate and their impact on human comfort. *Building and Environment*, 51: 285–295. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.11.020>
- Coltri, P. P., Ramirez, G. M., Walter, M. K. C., Junior, J. Z., Pinto, H. S., Nascimento, C. R., Gonçalves, R. R. V. (2009). Utilização de índices de vegetação para estimativas não destrutivas da biomassa, estoque e sequestro de carbono do Cafeeiro Arábica. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE: 121-128.
- Colunga, M. L., Cambrón-Sandoval, V. H., Suzán-Azpiri, H., Guevara-Escobar, A., & Luna-Soria, H. (2015). The role of urban vegetation in temperature and heat island effects in Querétaro city, Mexico. *Atmósfera*, 28(3): 205–218. <https://doi.org/10.20937/ATM.2015.28.03.05>
- Correia, E., Lopes, A., & Marques, D. (2015). An automatic GIS procedure to calculate urban densities to use in Urban Climatic Maps POSTER 12 : GD – Local Climates Zones and urban databases. *9th International Conference on Urban Climate 12th Symposium on the Urban Environment*, (July), 1.
- Das, S., & Singh, T. P. (2012). Correlation analysis between biomass and spectral vegetation indices of forest ecosystem. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 1(5): 1–13. <https://doi.org/ISSN: 2278-0181>
- Dimoudi, A., & Nikolopoulou, M. (2003). Vegetation in the urban environment: micro-climatic analysis and benefits. *Elsevier: Energy and Buildings*, 35(1): 69–76. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778802000816>

- Doick, K., & Hutchings, T. (2013). Air temperature regulation by urban trees and green infrastructure. *Forestry Commission*, (February): 1–10. Retrieved from [http://www.forestry.gov.uk/pdf/FCRN012.pdf/\\$FILE/FCRN012.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/FCRN012.pdf/$FILE/FCRN012.pdf)
- Doick, K. J., Peace, A., & Hutchings, T. R. (2014). The role of one large greenspace in mitigating London's nocturnal urban heat island. *Science of the Total Environment*, 493: 662–671. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.048>
- Du, H., Cai, W., Xu, Y., Wang, Z., Wang, Y., & Cai, Y. (2017). Quantifying the cool island effects of urban green spaces using remote sensing Data. *Urban Forestry & Urban Greening*, 27(May): 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.06.008>
- Du, L., Zhou, T., Zou, Z., Zhao, X., Huang, K., & Wu, H. (2014). Mapping forest biomass using remote sensing and national forest inventory in China. *Forests*, 5(6): 1267–1283. <https://doi.org/10.3390/f5061267>
- Duarte, D. H. S., Shinzato, P., Gusson, C. dos S., & Alves, C. A. (2015). The impact of vegetation on urban microclimate to counterbalance built density in a subtropical changing climate. *Urban Climate*, 14: 224–239. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.09.006>
- Eisfelder, C., Kuenzer, C., & Dech, S. (2012). Derivation of biomass information for semi-arid areas using remote-sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 33(9): 2937–2984. <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.620034>
- Eliasson, I., & Upmanis, H. (2000). Nocturnal airflow from urban parks-implications for city ventilation. *Theoretical and Applied Climatology*, 66(1–2): 95–107. <https://doi.org/10.1007/s007040070035>
- Fernández-Manso, O., Fernández-Manso, A., & Quintano, C. (2014). Estimation of aboveground biomass in Mediterranean forests by statistical modelling of ASTER fraction images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 31(1): 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.03.005>
- Feyisa, G. L., Dons, K., & Meilby, H. (2014). Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. *Landscape and Urban Planning*, 123(July): 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.12.008>
- Figueiredo, R. M. C. N. (2014). Áreas De Influência De Espaços Verdes Urbanos De Proximidade: Uma Abordagem Exploratória Na Freguesia De Arroios, 87.
- Filella, I., Peñuelas, J., Llorens, L., & Estiarte, M. (2004). Reflectance assessment of seasonal and annual changes in biomass and CO₂ uptake of a Mediterranean shrubland submitted to experimental warming and drought. *Remote Sensing of Environment*, 90(3): 308–318. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.01.010>
- Formica, A. F., Burnside, R. J., & Dolman, P. M. (2017). Rainfall validates MODIS-derived NDVI as an index of spatio-temporal variation in green biomass across non-montane semi-arid and arid Central Asia. *Journal of Arid Environments*, 142: 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.02.005>
- Franco, S. F., & Macdonald, J. L. (2016). Measurement and valuation of urban greenness: Remote sensing and hedonic applications to Lisbon, Portugal. *Regional Science and Urban Economics*, 2020 (October 2016). <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2017.03.002>
- Fung, C. K. W., & Jim, C. Y. (2017). Assessing the Cooling Effects of Different Vegetation Settings

- in a Hong Kong Golf Course. *Procedia Environmental Sciences*, 37: 626–636. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.049>
- Gago, E. J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R., & Ordóñez, J. (2013). The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 749–758. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.057>
- Galidaki, G., Zianis, D., Gitas, I., Radoglou, K., Karathanassi, V., Tsakiri-Strati, M., Mallinis, G. (2017). Vegetation biomass estimation with remote sensing: focus on forest and other wooded land over the Mediterranean ecosystem. *International Journal of Remote Sensing*, 38(7), 1940–1966. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1266113>
- Ganho, N. (1996). Espaços verdes no interior do tecido urbano de Coimbra, Portugal: contrastes topoclimáticos, influência bioclimática e riscos de poluição atmosférica. *Territorium*, 3: 35-55.
- Ganho, N. (2001). Classificação dos tipos de tempo aplicada à análise topoclimática. Uma resposta metodológica. *Cadernos de Geografia*, 20: 53-63.
- García, M., Riaño, D., Chuvieco, E., & Danson, F. M. (2010). Estimating biomass carbon stocks for a Mediterranean forest in central Spain using LiDAR height and intensity data. *Remote Sensing of Environment*, 114(4): 816–830. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.11.021>
- Garrouste, E. L., Hansen, A. J., & Lawrence, R. L. (2016). Using NDVI and EVI to map spatiotemporal variation in the biomass and quality of forage for migratory elk in the Greater Yellowstone Ecosystem. *Remote Sensing*, 8(5). <https://doi.org/10.3390/rs8050404>
- Georgi, J. N., & Dimitriou, D. (2010). The contribution of urban green spaces to the improvement of environment in cities: Case study of Chania, Greece. *Building and Environment*, 45(6): 1401–1414. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.12.003>
- Georgi, N. J., & Zafiriadis, K. (2006). The impact of park trees on microclimate in urban areas. *Urban Ecosystems*, 9(3): 195–209. <https://doi.org/10.1007/s11252-006-8590-9>
- Gillner, S., Vogt, J., Tharang, A., Dettmann, S., & Roloff, A. (2015). Role of street trees in mitigating effects of heat and drought at highly sealed urban sites. *Landscape and Urban Planning*, 143: 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.06.005>
- Goh, J. Y., Miettinen, J., Chin, S., & Keong, L. (n.d.). Estimating biomass in managed urban greenery areas using canopy cover percentages derived from NDVI, 2050.
- Gonçalves, N. F. H. (2009). Espaços verdes no planeamento urbano sustentável. Retrieved from <http://run.unl.pt/handle/10362/3982>
- González-Alonso, F., Merino-De-Miguel, S., Roldán-Zamarrón, A., García-Gigorro, S., & Cuevas, J. M. (2006). Forest biomass estimation through NDVI composites. The role of remotely sensed data to assess Spanish forests as carbon sinks. *International Journal of Remote Sensing*, 27(24): 5409–5415. <https://doi.org/10.1080/01431160600830748>
- Grimmond, C. S. B., Souch, C., & Hubble, M. D. (1996). Influence of tree cover on summertime surface energy balance fluxes, San Gabriel Valley, Los Angeles. *Climate Research*, 6: 45–57. <https://doi.org/10.3354/cr006045>
- Gromke, C., Blocken, B., Janssen, W., Merema, B., van Hooff, T., & Timmermans, H. (2015). CFD analysis of transpirational cooling by vegetation: Case study for specific meteorological

- conditions during a heat wave in Arnhem, Netherlands. *Building and Environment*, 83: 11–26. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.04.022>
- Gunawardena, K. R., Wells, M. J., & Kershaw, T. (2017). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of the Total Environment*, 584–585: 1040–1055. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.158>
- Günlü, A., Ercanli, Başkent, E. Z., & Çakır, G. (2014). Estimating aboveground biomass using landsat TM imagery: A case study of Anatolian Crimean pine forests in Turkey. *Annals of Forest Research*, 57(2): 289–298. <https://doi.org/10.15287/afr.2014.278>
- Hamada, S., & Ohta, T. (2010). Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas. *Urban Forestry and Urban Greening*, 9(1): 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.10.002>
- Haq, S. M. A. (2011). Urban Green Spaces and an Integrative Approach to Sustainable Environment. *Journal of Environmental Protection*, 02(05): 601–608. <https://doi.org/10.4236/jep.2011.25069>
- Hentz, A. M. K., Corte, A. P. D., Sanquetta, C. R. (2014). Técnicas de sensoriamento remoto para estimativa de biomassa em ambientes florestais. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia*, 10 (18): 2810-2823
- IPCC (2014) Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.
- Jansson, C., Jansson, P. E., & Gustafsson, D. (2007). Near surface climate in an urban vegetated park and its surroundings. *Theoretical and Applied Climatology*, 89(3–4): 185–193. <https://doi.org/10.1007/s00704-006-0259-z>
- Jauregui, E. (1990). Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city. *Energy and Buildings*, 15/16: 457–463
- Jonsson, P. (2004). Vegetation as an urban climate control in the subtropical city of Gaborone, Botswana. *International Journal of Climatology*, 24(10): 1307–1322. <https://doi.org/10.1002/joc.1064>
- Kong, F., Yin, H., James, P., Hutyra, L. R., & He, H. S. (2014). Effects of spatial pattern of greenspace on urban cooling in a large metropolitan area of eastern China. *Landscape and Urban Planning*, 128: 35–47. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.04.018>
- Kong, L., Lau, K. K. L., Yuan, C., Chen, Y., Xu, Y., Ren, C., & Ng, E. (2017). Regulation of outdoor thermal comfort by trees in Hong Kong. *Sustainable Cities and Society*, 31: 12–25. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.01.018>
- Kumar, L., & Mutanga, O. (2017). Remote sensing of above-ground biomass. *Remote Sensing*, 9(9): 1–8. <https://doi.org/10.3390/rs9090935>
- Kumar, L., Sinha, P., Taylor, S., & Alqurashi, A. F. (2015). Review of the use of remote sensing for biomass estimation to support renewable energy generation. *Journal of Applied Remote Sensing*, 9(1), 097696. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.9.097696>
- Kurn, D. M., Bretz, S. E., Huang, B., & Akbari, H. (1994). The Potential for Reducing Air Temperature and Energy Consumption Through Vegetative Cooling. *Energy &*

Environment. Retrieved from <http://www.osti.gov/scitech/biblio/10180633>

- Leal, C., Ganho, N., & Cordeiro, A. M. R. (2008). O contributo dos espaços verdes da cidade de Coimbra (Portugal) no topoclima, microclima e no conforto bioclimático. *Cadernos de Geografia*, 26/27: 333–341.
- Leandro, A. M. (2011). Avaliação da capacidade de instalação de telhados verdes na cidade de Lisboa com recurso a SIG e Detecção Remota. Dissertação elaborada para a obtenção do grau de mestre em Geografia Física e Ordenamento do Território. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Lee, H., Mayer, H., & Chen, L. (2016). Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany. *Landscape and Urban Planning*, 148: 37–50. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.004>
- Lee, S. H., Lee, K. S., Jin, W. C., & Song, H. K. (2009). Effect of an urban park on air temperature differences in a central business district area. *Landscape and Ecological Engineering*, 5(2): 183–191. <https://doi.org/10.1007/s11355-009-0067-6>
- Leuzinger, S., Vogt, R., & Körner, C. (2010). Tree surface temperature in an urban environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(1): 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.08.006>
- Li, X. X., & Norford, L. K. (2016). Evaluation of cool roof and vegetations in mitigating urban heat island in a tropical city, Singapore. *Urban Climate*, 16: 59–74. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.12.002>
- Li, X., Zhou, W., & Ouyang, Z. (2013). Relationship between land surface temperature and spatial pattern of greenspace: What are the effects of spatial resolution? *Landscape and Urban Planning*, 114(June): 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.02.005>
- Lin, B. S., & Lin, Y. J. (2010). Cooling effect of shade trees with different characteristics in a subtropical urban park. *HortScience*, 45(1): 83–86.
- Lin, W., Yu, T., Chang, X., Wu, W., & Zhang, Y. (2015). Calculating cooling extents of green parks using remote sensing: Method and test. *Landscape and Urban Planning*, 134: 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.012>
- Long, H., Li, X., Wang H., Jia, J. (2013). Biomass resources and their bioenergy potential estimation: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26: 344–352.
- Lopes, A. (2003). Modificações no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano. Vento, ilha de calor de superfície e balanço energético. Tese de Doutoramento em Geografia Física apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa. Univerisdade de Lisboa, Lisboa: 354p.
- Lopes, A. (2008). O sobreaquecimento das cidades. Causas e medidas para a mitigação da ilha de calor de Lisboa. *Territorium*, (15): 39–52. <https://doi.org/10.14195/1647-7723>
- Lopes, A., Alves, E., Alcoforado, M. J., & Machete, R. (2013). Lisbon urban heat island updated: New highlights about the relationships between thermal patterns and wind regimes. *Advances in Meteorology*, 2013(Figure 1). <https://doi.org/10.1155/2013/487695>
- Lopes, A., Saraiva, J., Alcoforado, M. J. (2011). Urban boundary layer wind speed reduction in summer due to urban growth and environmental consequences in Lisbon. *Environmental*

- Lu, D. (2005). Aboveground biomass estimation using Landsat TM data in the Brazilian Amazon. *International Journal of Remote Sensing*, 26(12): 2509–2525. <https://doi.org/10.1080/01431160500142145>
- Lu, D. (2006). The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing*, 27(7): 1297–1328. <https://doi.org/10.1080/01431160500486732>
- Lu, J., Li, C. D., Yang, Y. C., Zhang, X. H., & Jin, M. (2012). Quantitative evaluation of urban park cool island factors in mountain city. *Journal of Central South University of Technology (English Edition)*, 19(6): 1657–1662. <https://doi.org/10.1007/s11771-012-1189-9>
- Lumbierres, M., Méndez, P., Bustamante, J., Soriguer, R., & Santamaría, L. (2017). Modeling Biomass Production in Seasonal Wetlands Using MODIS NDVI Land Surface Phenology. *Remote Sensing*, 9(4), 392. <https://doi.org/10.3390/rs9040392>
- Maimaitiyiming, M., Ghulam, A., Tiyp, T., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Halik, Ü., ... Caetano, M. (2014). Effects of green space spatial pattern on land surface temperature: Implications for sustainable urban planning and climate change adaptation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 89: 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.12.010>
- Makhelouf, A. (2009). The Effect of Green Spaces on Urban Climate and Pollution. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 6(1): 35–40.
- Mariani, L., Parisi, S. G., Cola, G., Laforteza, R., Colangelo, G., & Sanesi, G. (2016). Climatological analysis of the mitigating effect of vegetation on the urban heat island of Milan, Italy. *Science of the Total Environment*, 569–570: 762–773. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.111>
- McDonald, R. T. N. C., Timm Kroeger, T. N. C., Tim Boucher, T. N. C., Wang Longzhu, T. N. C., & Rolla Salem, T. N. C. (2016). *Planting Healthy Air. A global analysis of the role of urban trees in addressing particulate matter pollution and extreme heat*. Retrieved from <http://www.lung.org/associations/charters/mid-atlantic/air-quality/indoor-air-quality.html?referrer=https://www.google.lk/>
- McHale, M. R., Burke, I. C., Lefsky, M. A., Peper, P. J., & McPherson, E. G. (2009). Urban forest biomass estimates: Is it important to use allometric relationships developed specifically for urban trees? *Urban Ecosystems*, 12(1): 95–113. <https://doi.org/10.1007/s11252-009-0081-3>
- Mendes, F. H., Filho, D. F. S., Lopes, A. M. S. (2015). Proposta de metodologia para a quantificação da cobertura arbórea na cidade de Lisboa a partir de imagem de alta resolução. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia*, 11 (21): 3254- 3265
- Middel, A., Chhetri, N., & Quay, R. (2015). Urban forestry and cool roofs: Assessment of heat mitigation strategies in Phoenix residential neighborhoods. *Urban Forestry and Urban Greening*, 14(1): 178–186. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.09.010>
- Mohajerani, A., Bakaric, J., & Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*, 197: 522–538. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095>

- Monteiro, M. V., Doick, K. J., Handley, P., Peace, A. (2016). The impact of greenspace size on the extent of local nocturnal air temperature cooling in London. *Urban Forestry and Urban Greenery*; DOI: 10.1016/j.ufug.2016.02.008
- Muñoz, J. D., Finley, A. O., Gehl, R., & Kravchenko, S. (2010). Nonlinear hierarchical models for predicting cover crop biomass using Normalized Difference Vegetation Index. *Remote Sensing of Environment*, 114(12): 2833–2840. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.06.011>
- Ng, E., Chen, L., Wang, Y., & Yuan, C. (2012). A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. *Building and Environment*, 47(1): 256–271. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.014>
- Ngo, K. M., & Lum, S. (2018). Aboveground biomass estimation of tropical street trees. *Journal of Urban Ecology*, 4(1): 1–6. <https://doi.org/10.1093/jue/jux020>
- O'Malley, C., Piroozfar, P., Farr, E. R. P., & Pomponi, F. (2015). Urban Heat Island (UHI) mitigating strategies: A case-based comparative analysis. *Sustainable Cities and Society*, 19: 222–235. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.05.009>
- Oke, T. R. (1987). *Boundary layer climates*. *Earth-Science Reviews* (Vol. 27). [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(90\)90005-G](https://doi.org/10.1016/0012-8252(90)90005-G)
- Oke, T. R. (2004). Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. *World Meteorological Organization*, (81), 51. <https://doi.org/Reporte>
- Oliveira, S., Andrade, H., Alcoforado, M. J., Vaz, T. (2008). O contributo potencial dos espaços verdes para a adaptação às alterações climáticas das cidades. O exemplo de dois jardins de Lisboa.
- Oliveira, S., Andrade, H., & Vaz, T. (2011). The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. *Building and Environment*, 46(11): 2186–2194. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.04.034>
- Onder, S., & Dursun, S. (2011). Global Climate Changes and Effects on Urban Climate of Urban Green Spaces. *Int. J. of Thermal & Environmental Engineering*, 3(1): 37–41. <https://doi.org/10.5383/ijtee.03.01.006>
- Park, J., Kim, J. H., Lee, D. K., Park, C. Y., & Jeong, S. G. (2017). The influence of small green space type and structure at the street level on urban heat island mitigation. *Urban Forestry and Urban Greening*, 21(January): 203–212. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.12.005>
- Park, M., Hagishima, A., Tanimoto, J., & Narita, K. ichi. (2012). Effect of urban vegetation on outdoor thermal environment: Field measurement at a scale model site. *Building and Environment*, 56: 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.02.015>
- Pereira, J. M. C., Oliveira, T. M., & Paul, J. C. P. (1995). Satellite-based estimation of mediterranean shrubland structural parameters. *EARSel Advances in Remote Sensing*.
- Peres, L. de F., Lucena, A. J. de, Rotunno Filho, O. C., & França, J. R. de A. (2018). The urban heat island in Rio de Janeiro, Brazil, in the last 30 years using remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 64(September 2017): 104–116. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.08.012>
- Petralli, M., Massetti, L., & Orlandini, S. (2009). Air temperature distribution in an urban park: Differences between open-field and below a canopy. *The Seventh International Conference*

on *Urban Climate*, 29(March 2016).

- Pezzuto, C. C. (2015). Avaliação do comportamento térmico de áreas verdes em diferentes configurações de entorno imediato – estudo de caso em regiões metropolitanas. *Ur*, 8: 104- 113
- Ping, Y., Zi-Niu, X., & Meng-Shu, Y. (2016). Atmospheric and Oceanic Science Letters Cooling effect of urban parks and their relationship with urban heat islands Cooling effect of urban parks and their relationship with urban heat islands. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 9(4): 298–305. <https://doi.org/10.1080/16742834.2016.1191316>
- Potchter, O., Cohen, P., & Bitan, A. (2006). Climatic behavior of various urban parks during hot and humid summer in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. *International Journal of Climatology*, 26(12): 1695–1711. <https://doi.org/10.1002/joc.1330>
- Qiu, G. Y., Zou, Z., Li, X., Li, H., Guo, Q., Yan, C., & Tan, S. (2017). Experimental studies on the effects of green space and evapotranspiration on urban heat island in a subtropical megacity in China. *Habitat International*, 68: 30–42. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2017.07.009>
- Quintal R (2014) Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian. Calouste Gulbenkian Foundation's Garden: Flora. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, Portugal.
- Raciti, S. M., Hutyra, L. R., & Newell, J. D. (2014). Mapping carbon storage in urban trees with multi-source remote sensing data: Relationships between biomass, land use, and demographics in Boston neighborhoods. *Science of the Total Environment*, 500–501: 72–83. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.070>
- Rafiee, A., Dias, E., & Koomen, E. (2016). Local impact of tree volume on nocturnal urban heat island: A case study in Amsterdam. *Urban Forestry and Urban Greening*, 16: 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.01.008>
- Ren, Z., He, X., Zheng, H., Zhang, D., Yu, X., Shen, G., & Guo, R. (2013). Estimation of the relationship between urban park characteristics and park cool island intensity by remote sensing data and field measurement. *Forests*, 4(4): 868–886. <https://doi.org/10.3390/f4040868>
- Ribeiro, P. J. R. (2011). Queda de árvores motivada por ventos fortes em Lisboa. Dissertação elaborada com vista à obtenção do grau de mestre em Geografia Física e Ordenamento do Território. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Robitu, M., Musy, M., Inard, C., & Groleau, D. (2006). Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate. *Solar Energy*, 80(4): 435–447. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.06.015>
- Rosenfeld, A. H., Akbari, H., Romm, J. J., & Pomerantz, M. (1998). Cool communities: Strategies for heat island mitigation and smog reduction. *Energy and Buildings*, 28(1): 51–62. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00063-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00063-7)
- Rotem-Mindali, O., Michael, Y., Helman, D., & Lensky, I. M. (2015). The role of local land-use on the urban heat island effect of Tel Aviv as assessed from satellite remote sensing. *Applied Geography*, 56(January): 145–153. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.11.023>
- Salgueiro, T. B. (2002). Desenvolvimento Urbano de Lisboa. *Revista de Estudos Regionais*: 7-22

- Santos, M. J. V. (2009). Utilização de imagem Liss III para análise de espaços verdes em Lisboa, 109p. Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências e Gestão da Informação Geográfica, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Shashua-Bar, L., Cohen, S., Potchter, O., Yaakov, Y., Tanny, J., Bar-Kutiel, P. (2010). The use of street trees for heat mitigation in hot and arid regions Case study: Beer Sheva, Israel. Conference Paper
- Shashua-Bar, L., & Hoffman, M. E. (2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and Buildings*, 31(3): 221–235. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(99\)00018-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(99)00018-3)
- Shashua-Bar, L., & Hoffman, M. E. (2004). Quantitative evaluation of passive cooling of the UCL microclimate in hot regions in summer, case study: Urban streets and courtyards with trees. *Building and Environment*, 39(9): 1087–1099. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2003.11.007>
- Shashua-Bar, L., Pearlmutter, D., & Erell, E. (2009). The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate. *Landscape and Urban Planning*, 92(3–4): 179–186. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.04.005>
- Shiflett, S. A., Liang, L. L., Crum, S. M., Feyisa, G. L., Wang, J., & Jenerette, G. D. (2017). Variation in the urban vegetation, surface temperature, air temperature nexus. *Science of the Total Environment*, 579: 495–505. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.069>
- Shoshany, M., & Karnibad, L. (2011). Mapping shrubland biomass along mediterranean climatic gradients: The synergy of rainfall-based and NDVI-based models. *International Journal of Remote Sensing*, 32(24): 9497–9508. <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.562255>
- Soares, A. L. B. S. S. S. L. (2006). O valor das árvores - Árvores e Floresta Urbana de Lisboa, 2006. Tese apresentada para obtenção do grau de Doutor. Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Soares, A. L., Rego, F. C., McPherson, E. G., Simpson, J. R., Peper, P. J., & Xiao, Q. (2011). Benefits and costs of street trees in Lisbon, Portugal. *Urban Forestry and Urban Greening*, 10(2): 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2010.12.001>
- Soltani, A., & Sharifi, E. (2017). Daily variation of urban heat island effect and its correlations to urban greenery: A case study of Adelaide. *Frontiers of Architectural Research*. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.08.001>
- Souch, C. A., Souch, C. (1993). The effect of trees on summertime below canopy urban climates: a case study Bloomington, Indiana. *Journal of Arboriculture*, 19(5): 303-312
- Spronken-smith, R. A., & Oke, T. R. (1999). Scale modeling of nocturnal cooling in urban parks. *Boundary-Layer Meteorology*, 93: 287–312. <https://doi.org/10.1023/A:1002001408973>
- Spronken-Smith, R. A., & Oke, T. R. (1998). The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. *International Journal of Remote Sensing*, 19(11): 2085–2104. <https://doi.org/10.1080/014311698214884>
- Sproken-Smith, R. A., Oke, T. R., Lowry, W. P. (2000). Advection and the surface energy balance across an irrigated urban park. *Int. J. Climatol.*, 20: 1033–1047

- Streiling, S., & Matzarakis, A. (2003). Influence of single and small clusters of trees on the bioclimatic of a city: A case study. *Journal of Arboriculture*, 29(6), 309–316. Retrieved from <http://joa.isa-arbor.com/request.asp?JournalID=1&ArticleID=111&Type=2>
- Susca, T., Gaffin, S. R., & Dell’Osso, G. R. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution*, 159(8–9): 2119–2126. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.007>
- Taha, H., Akbari, H., & Rosenfeld, A. (1991). Heat Island and Oasis Effects of Vegetative Canopies: Micro-Meteorological Field-Measurements. *Theor. Appl. Climatol*, 44: 123-138
- Taleghani, M., Sailor, D. J., Tenpierik, M., & van den Dobbelsteen, A. (2014). Thermal assessment of heat mitigation strategies: The case of Portland State University, Oregon, USA. *Building and Environment*, 73: 138–150. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.12.006>
- Tan, C. L., Wong, N. H., & Jusuf, S. K. (2014). Effects of vertical greenery on mean radiant temperature in the tropical urban environment. *Landscape and Urban Planning*, 127: 52–64. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.04.005>
- Tan, Z., Lau, K. K. L., & Ng, E. (2016). Urban tree design approaches for mitigating daytime urban heat island effects in a high-density urban environment. *Energy and Buildings*, 114: 265–274. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.031>
- Teles, C. M. G. (2013). Influência Climática do Parque da Cidade de Guimarães. Dissertação de mestrado/doutoramento, Universidade do Minho, Braga.
- Telles, G. R. (1997). O Plano Verde de Lisboa: componente do plano director municipal de Lisboa, Edições Colibri, Lisboa
- Timothy, D., Onisimo, M., Cletah, S., Adelabu, S., & Tsitsi, B. (2016). Remote sensing of aboveground forest biomass: A review. *Tropical Ecology*, 57(2): 125–132.
- Upmanis, H., & Chen, D. (1999). Influence of geographical factors and meteorological variables on nocturnal urban-park temperature differences-a case study of summer 1995 in Goteborg, Sweden. *Climate Research*, 13(2), 125–139. <https://doi.org/10.3354/cr013125>
- Upmanis, H., Eliasson, I., & Lindqvist, S. (1998). The Influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Goeteborg, Sweden). *International Journal of Climatology*, 18(6), 681–700.
- Vasconcelos, J., & Vieira, R. (2011). Contributo dos Espaços Verdes para o Conforto Bioclimático nas Cidades. *Revista Engenharia Civil - Universidade Do Minho*, 40(May 2014): 63–74.
- Velho, S. I. P. (2012). O efeito dos espaços verdes no conforto bioclimático. Os Jardins de Serralves. Dissertação de mestrado, Universidade do Porto, Porto
- Venhari, A., Tenpierik, M., & Mahdizadeh Hakak, A. (2017). Heat mitigation by greening the cities, a review study. *Environment, Earth and Ecology*, 1(1): 5–32. <https://doi.org/10.24051/eee/67281>
- Vidrih, B., & Medved, S. (2013). Multiparametric model of urban park cooling island. *Urban Forestry and Urban Greening*, 12(2): 220–229. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.01.002>
- Vieira, J., Matos, P., Mexia, T., Silva, P., Lopes, N., Freitas, C., Correia, O., Santos-Reis, M., Brnaquinho, C., Pinho, P. (2018) Green spaces are not all the same for the provision of air

- purification and climate regulation services: The case of urban parks. *Environmental Research*, 160: 306-313
- Virtudes, A. (2016). Benefits of Greenery in Contemporary City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 44(3). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/44/3/032020>
- Viveiros, R. R. (2017). A influência da vegetação em pequenos espaços verdes na mitigação do efeito ilha de calor urbano em Lisboa. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em: Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. 150pp.
- Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3): 370–384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)
- Wang, Y., Berardi, U., & Akbari, H. (2016). Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada. *Energy and Buildings*, 114: 2–19. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.046>
- Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4): 467–483. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>
- Wong, N. H., & Jusuf, S. K. (2010). Study on the microclimate condition along a green pedestrian canyon in Singapore. *Architectural Science Review*, 53(2): 196–212. <https://doi.org/10.3763/asre.2009.0029>
- Yamamoto, Y. (2006). Measures to Mitigate Urban Heat Islands. *Environmental and Energy Research Unit. Quaterly Review*, 18: 65–83.
- Yang, A. S., Juan, Y. H., Wen, C. Y., & Chang, C. J. (2017). Numerical simulation of cooling effect of vegetation enhancement in a subtropical urban park. *Applied Energy*, 192: 178–200. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.01.079>
- Yu, Z., Guo, X., Jørgensen, G., & Vejre, H. (2017). How can urban green spaces be planned for climate adaptation in subtropical cities? *Ecological Indicators*, 82(March): 152–162. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.002>
- Yu, Z., Guo, X., Zeng, Y., Koga, M., & Vejre, H. (2018). Variations in land surface temperature and cooling efficiency of green space in rapid urbanization: The case of Fuzhou city, China. *Urban Forestry and Urban Greening*, 29(November 2017): 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.11.008>
- Zardo, L., Geneletti, D., Pérez-Soba, M., & Van Eupen, M. (2017). Estimating the cooling capacity of green infrastructures to support urban planning. *Ecosystem Services*, 26: 225–235. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.06.016>
- Zhang, B., Xie, G. di, Gao, J. xi, & Yang, Y. (2014). The cooling effect of urban green spaces as a contribution to energy-saving and emission-reduction: A case study in Beijing, China. *Building and Environment*, 76(April): 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.003>
- Zhang, X., Zhong, T., Feng, X., & Wang, K. (2009). Estimation of the relationship between vegetation patches and urban land surface temperature with remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 30(8): 2105–2118. <https://doi.org/10.1080/01431160802549252>



- Zhang, Z., Lv, Y., & Pan, H. (2013). Cooling and humidifying effect of plant communities in subtropical urban parks. *Urban Forestry and Urban Greening*, 12(3): 323–329. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.03.010>
- Zhao, Q., Yang, J., Wang, Z.-H., & Wentz, E. (2018). Assessing the Cooling Benefits of Tree Shade by an Outdoor Urban Physical Scale Model at Tempe, AZ. *Urban Science*, 2(1), 4. <https://doi.org/10.3390/urbansci2010004>
- Zhu, X., & Liu, D. (2015). Improving forest aboveground biomass estimation using seasonal Landsat NDVI time-series. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 102: 222–231. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.08.014>
- Zoulia, I., Santamouris, M., & Dimoudi, A. (2009). Monitoring the effect of urban green areas on the heat island in Athens. *Environmental Monitoring and Assessment*, 156(1–4): 275–292. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0483-3>




Webgrafia



- <http://www.cm-lisboa.pt/> (consultado a 22/07/2018)
- <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/proba-v> (consultado a 15/07/2018)
- https://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Proba-V (consultado a 15/07/2018)
- <https://www.ipma.pt/pt/index.html> (consultado a 8/12/17)
- https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=ine_main&xpid=INE (consultado a 9/12/17)
- <http://www.vito-eodata.be/PDF/portal/Application.html#Home> (consultado a 29/12 e 3/01/2018)
- <https://earthexplorer.usgs.gov/> (consultado a 27/11/2017 e 1/12/2017)
- <https://eos.com/landviewer/> (consultado a 30/11/2017 e 1/12/2017)
- <http://www.wudapt.org/> (consultado a 5/12/2017)
- https://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.phtml?network=PT_ASOS (consultado a 16/07/2018 e 29/07/2018)
- <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas> (consultado a 18/07/2018)
- <https://www.ogimet.com/> (consultado a 18/4/2018 e 17/7 a 19/7/2018)
- <https://websites.pmc.ucsc.edu/~jnoble/wind/extrap/> (consultado a 24/07/2018 e 27/07/2018)
- <http://geodados.cm-lisboa.pt/datasets/espa%C3%A7os-verdes/geoservice> (consultado a 29/07/2019 e 18/08/2018)



9. Anexos



Anexo 1 – Quadro-resumo: características dos locais de medição fixa de parâmetros climáticos (Jardim da Gulbenkian)

	Parâmetro	Descrição
	Designação	NE (I)
	Caraterização do local	<ul style="list-style-type: none"> Extremidade NE do jardim (proximidade ao espaço construído envolvente, nomeadamente a Avenida de Berna e o Largo Azeredo Perdigão); Composto por vegetação arbustiva e arbórea relativamente densa, proporcionando sombra em todo ou quase todo o dia e abrigo aos ventos dominantes.
	Localização geográfica	Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian (interior)
	Altitude do local	75 m
	Altura do aparelho instalado acima do solo	3,5 m
	NDVI	- Período de inverno (05/02/2016): 0,3 - Período de verão (17/07/2017): 0,4
	Biomassa	- Período de inverno (ensemble dos 3 modelos): 0,4 kg/m ² - Período de verão (ensemble dos 3 modelos): 0,6 kg/m ²
	Designação	T (I)
	Caraterização do local	<ul style="list-style-type: none"> Telhado verde do edifício principal do jardim (a cerca de 11 m da superfície topográfica); Vegetação herbácea (relva)
	Localização geográfica	Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian (Interior)
	Altitude do local	88 m
	Altura do aparelho instalado acima do solo	0,5 m (a partir do telhado)
	NDVI	- Período de inverno (05/02/2016): 0,4 - Período de verão (17/07/2017): 0,5
	Biomassa	- Período de inverno (ensemble dos 3 modelos): 0,7 kg/m ² - Período de verão (ensemble dos 3 modelos): 0,9 kg/m ²
	Designação	O (I)
	Caraterização do local	<ul style="list-style-type: none"> Extremidade oeste do jardim (grande proximidade ao espaço construído)

		<p>envolvente, nomeadamente a Avenida António Augusto de Aguiar);</p> <ul style="list-style-type: none"> Espaço constituído por vegetação arbórea e arbustiva densa, propiciando uma situação de sombra todo ou em quase todo o dia e abrigo aos ventos dominantes.
	Localização geográfica	Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian (interior);
	Altitude do local	77 m
	Altura do aparelho instalado acima do solo	3,5 m
	NDVI	- Período de inverno (05/02/2016): 0,6 - Período de verão (17/07/2017): 0,7
	Biomassa	- Período de inverno (ensemble dos 3 modelos): 1 kg/m ² - Período de verão (ensemble dos 3 modelos): 1,1 kg/m ²
	Designação	P (I)
	Caraterização do local	<ul style="list-style-type: none"> Interior de um pequeno pinhal, criado recentemente no jardim (sombra em grande parte do dia); Vegetação herbácea (relva); Vegetação arbórea e arbustiva densa na sua envolvente.
	Localização geográfica	Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian (interior);
	Altitude do local	78 m
	Altura do aparelho instalado acima do solo	3,5 m
	NDVI	- Período de inverno (05/02/2016): 0,6 - Período de verão (17/07/2017): 0,6
	Biomassa	- Período de inverno (ensemble dos 3 modelos): 0,9 kg/m ² - Período de verão (ensemble dos 3 modelos): 1 kg/m ²
	Designação	A I (E)
	Caraterização do local	<ul style="list-style-type: none"> Entroncamento de uma rua arborizada com orientação E-O com uma rua de orientação NE-SO (Rua Marquês Sá da Bandeira); Influência dos ventos dominantes (N); Presença de espécies arbóreas na Avenida Miguel Bombarda (jacarandá).
	Localização geográfica	Avenida Miguel Bombarda
	Altitude do local	87 m

	Altura média dos edifícios envolventes	17,6 m
	Altura do aparelho instalado acima do solo	3,5 m
	NDVI	- Período de inverno (05/02/2016): 0,3 - Período de verão (17/07/2017): 0,3
	Biomassa	- Período de inverno (ensemble dos 3 modelos): 0,5 kg/m ² - Período de verão (ensemble dos 3 modelos): 0,5 kg/m ²
	Designação	A II (E)
	Caraterização do local	<ul style="list-style-type: none"> • Rua arborizada com orientação E-O; • Entroncamento com rua arborizada de orientação NO-SE (Avenida Conde Valbom), composta por espécies arbóreas; • Proximidade a pequeno jardim/largo com vegetação (arbórea e herbácea); • Influência dos ventos dominantes (N).
	Localização geográfica	Avenida Miguel Bombarda
	Altitude do local	90 m
	Altura média dos edifícios envolventes	18,4 m
	Altura do aparelho instalado acima do solo	3,5 m
	NDVI	- Período de inverno (05/02/2016): 0,4 - Período de verão (17/07/2017): 0,3
	Biomassa	- Período de inverno (ensemble dos 3 modelos): 0,6 kg/m ² - Período de verão (ensemble dos 3 modelos): 0,5 kg/m ²
	Designação	A III (E)
	Caraterização do local	<ul style="list-style-type: none"> • Rua arborizada com orientação E-O; proximidade a cruzamento com rua arborizada (vegetação arbórea no centro) de orientação N-S (Avenida Marquês de Tomar) • O aparelho encontra-se em posição de abrigo face aos ventos dominantes, estando instalado junto aos edifícios da Avenida Miguel Bombarda • Proximidade a pequeno jardim/largo com vegetação (arbórea e rasteira)
	Localização geográfica	Avenida Miguel Bombarda; coordenadas:
	Altitude do local	85m





	Altura média dos edifícios envolventes	18,4 m
	Altura do aparelho instalado acima do solo	3,5 m
	NDVI	- Período de inverno (05/02/2016): 0,1 - Período de verão (17/07/2017): 0,2
	Biomassa	- Período de inverno (ensemble dos 3 modelos): 0 kg/m ² - Período de verão (ensemble dos 3 modelos): 0,3 kg/m ²
	Designação	A IV (E)
	Caraterização do local	<ul style="list-style-type: none"> Rua com orientação arborizada E-O; Cruzamento com rua arborizada de orientação N-S (Avenida 5 de Outubro); Influência dos ventos dominantes (N).
	Localização geográfica	Avenida Miguel Bombarda
	Altitude do local	89 m
	Altura média dos edifícios envolventes	16,2 m
	Altura do aparelho instalado acima do solo	3,5 m
	NDVI	- Período de inverno (05/02/2016): 0,3 - Período de verão (17/07/2017): 0,3
	Biomassa	- Período de inverno (ensemble dos 3 modelos): 0,5 kg/m ² - Período de verão (ensemble dos 3 modelos): 0,5 kg/m ²
	Designação	N (E)
	Caraterização do local	<ul style="list-style-type: none"> Rua com orientação N-S; Entroncamento com rua de orientação E-O (Rua Dr. Silva Teles); Influência dos ventos dominantes (N).
	Localização geográfica	Rua da Beneficência
	Altitude do local	74 m
	Altura média dos edifícios envolventes	15 m
	Altura do aparelho instalado acima do solo	3,5 m
	NDVI	- Período de inverno (05/02/2016): 0,2 - Período de verão (17/07/2017): 0,2
	Biomassa	- Período de inverno (ensemble dos 3 modelos): 0 kg/m ²

		- Período de verão (ensemble dos 3 modelos): 0,3 kg/m ²
	Designação	S I (E)
	Caraterização do local	<ul style="list-style-type: none"> • Largo de uma rua com orientação N-S; • Entroncamento com rua de orientação O-E (Rua Carlos Testa); • Presença de vegetação no largo (vegetação arbórea; dizer em todos se é perene ou caduca) • Influência dos ventos dominantes (N).
	Localização geográfica	Rua Dr. Nicolau Bettencourt
	Altitude do local	94 m
	Altura média dos edifícios envolventes	10,1 m
	Altura do aparelho instalado acima do solo	3,80 m
	NDVI	- Período de inverno (05/02/2016): 0,2 - Período de verão (17/07/2017): 0,2
	Biomassa	- Período de inverno (ensemble dos 3 modelos): 0,3 kg/m ² - Período de verão (ensemble dos 3 modelos): 0,4 kg/m ²
	Designação	S II (E)
	Caraterização do local	<ul style="list-style-type: none"> • Rua com orientação N-S; • Entroncamento com rua de orientação E-O (Rua Augusto dos Santos); • Influência dos ventos dominantes (N); • Proximidade a vegetação arbórea (na praça da rua Dr. Nicolau Bettencourt).
	Localização geográfica	Rua Dr. Nicolau Bettencourt; coordenadas
	Altitude do local	96 m
	Altura média dos edifícios envolventes	6,9 m
	Altura do aparelho instalado acima do solo	7 m
	NDVI	- Período de inverno (05/02/2016): 0,2 - Período de verão (17/07/2017): 0,2
	Biomassa	- Período de inverno (ensemble dos 3 modelos): 0,3 kg/m ² - Período de verão (ensemble dos 3 modelos): 0,3 kg/m ²

Anexo 2 - Quadro-resumo: características dos locais de medição fixa de parâmetros climáticos (Jardim Fernando Pessa)




	Parâmetro	Descrição
	Designação	Interior do Jardim (Int.)
	Caraterização do local	<ul style="list-style-type: none"> • Área aberta, junto a um relvado e um passeio pedonal/ superfície coberta por pavimento (calçada portuguesa); • Proximidade a infraestruturas de apoio ao jardim (quiosque, etc); • Presença de espécies arbóreas e arbustivas na envolvente; • Posição de abrigo dos ventos dominantes (N);
	Localização geográfica	Jardim Fernando Pessa (interior)
	Altitude do local	86 m
	Altura do aparelho instalado acima do solo	3,5 m
	NDVI	- Período de inverno (05/02/2016): - Período de verão (17/07/2017):
	Biomassa	- Período de inverno (ensemble dos 3 modelos): - Período de verão (ensemble dos 3 modelos):
	Designação	Exterior do Jardim (Ext.)
	Descrição	<ul style="list-style-type: none"> • Rua arborizada (vegetação arbórea) com orientação NW-SE; • Influência dos ventos dominantes (N).
	Localização geográfica	Avenida de Roma
	Altitude do local	88 m
	Altura média dos edifícios envolventes	18,6 m
	Altura do aparelho instalado acima do solo	3,5 m
	NDVI	- Período de inverno (05/02/2016): - Período de verão (17/07/2017):
	Biomassa	- Período de inverno (ensemble dos 3 modelos): - Período de verão (ensemble dos 3 modelos):



Anexo 3 - Quadro-resumo: características dos locais de medição itinerante de parâmetros climáticos no interior e no exterior do Jardim da Gulbenkian




Percursos	Caraterísticas	
Percorso do interior do jardim da Gulbenkian	<p>Ponto I1</p> <ul style="list-style-type: none"> • Espaço aberto (relvado na frente do jardim) • Proximidade a algumas espécies arbóreas e arbustivas) 	
	<p>Ponto I2</p> <ul style="list-style-type: none"> • Relvado junto a passeio pedonal (proximidade a espécies arbóreas e arbustivas). 	
	<p>Ponto I3</p> <ul style="list-style-type: none"> • Espaço fechado (vegetação arbórea e arbustiva muito densa); • Posição de abrigo aos ventos dominantes; • Sombra todo o dia. 	
	<p>Ponto I4</p> <ul style="list-style-type: none"> • Espaço fechado, junto a aparelho fixo, na extremidade oeste do jardim (proximidade à área construída envolvente); • Vegetação arbórea e arbustiva densa; • Posição de abrigo aos ventos dominantes; • Sombra todo ou quase todo o dia. 	

	<p>Ponto I5</p> <ul style="list-style-type: none"> • Interior de um pinhal, junto a aparelho fixo; • Presença de herbáceas; • Vegetação arbórea e arbustiva densa na envolvente do pinhal; • Sombra quase todo o dia. 	
	<p>Ponto I6</p> <ul style="list-style-type: none"> • Espaço aberto; • Relvado junto a corpo de água; • Espécies arbóreas e arbustivas na envolvente. 	
	<p>Ponto I7</p> <ul style="list-style-type: none"> • Espaço aberto; • Relvado; • Espécies arbóreas e arbustivas na proximidade do local. 	
	<p>Ponto I8</p> <ul style="list-style-type: none"> • Espaço fechado, junto a aparelho fixo; • Extremidade nordeste do jardim; proximidade à área construída envolvente; • Vegetação arbórea e arbustiva densa; • Posição de abrigo face aos ventos dominantes; • Sombra em todo ou quase todo o dia. 	
<p>Percurso Norte – Rua Tenente Espanca</p>	<p>Breve caraterização da rua</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rua com orientação N-S; • Ligeira inclinação da superfície topográfica (cerca de 6 m de desnível entre o ponto 3 e o ponto 1); • Escassa vegetação (espécies arbóreas no cruzamento com a Avenida Santos Dumont).





	Ponto E1	<p>- Cruzamento com rua com vegetação (espécies arbóreas), de orientação E-O (Avenida de Berna);</p> <p>- Junto a semáforo.</p>	
	Ponto E2	<p>- Entroncamento com rua de orientação E-O (Rua Dr. Silva Teles);</p> <p>- Junto a poste de iluminação pública.</p>	
	Ponto E3	<p>- Cruzamento com rua com vegetação (espécies arbóreas), de orientação E-O (Avenida Santos Dumont);</p> <p>- Junto a poste de iluminação pública.</p>	
Percurso Sul – Rua Dr. Nicolau Bettencourt	Breve caracterização da rua		<ul style="list-style-type: none"> • Rua com orientação N-S; • Escassa vegetação (algumas árvores de grande porte).
	Ponto E7	<p>- Cruzamento com Rua Marquês da Fronteira (orientação E-O);</p> <p>- Junto a semáforo.</p>	

	Ponto E8	<ul style="list-style-type: none"> - Cruzamento com Rua Carlos Testa (orientação E-O); - Junto a poste de iluminação pública e semáforo; - Praceta; - Junto a aparelho fixo. 	
	Ponto E9	<ul style="list-style-type: none"> - Entroncamento com Rua Augusto dos Santos (orientação E-O); - Junto a aparelho fixo. 	
Percurso Este – Avenida Miguel Bombarda	Breve caracterização da rua		<ul style="list-style-type: none"> • Rua com orientação E-O; • Presença de vegetação em ambos os lados da rua (jacarandás).
	Ponto E10	<ul style="list-style-type: none"> - Cruzamento com rua de orientação NE-SO (Rua Marquês Sá da Bandeira); - Junto a poste de iluminação pública e semáforo; - Junto a aparelho fixo. 	

	Ponto E11	<p>-Cruzamento com rua com vegetação (espécies arbóreas de grande porte), de orientação NO-SE (Avenida Conde Valbom);</p> <p>- junto a poste de iluminação pública;</p> <p>- Proximidade a pequeno jardim (espécies arbóreas e herbáceas);</p> <p>- Junto a aparelho fixo</p>		
	Ponto E12	<p>- Cruzamento com rua com vegetação (espécies arbóreas de grande porte), de orientação N-S (Avenida Marquês de Tomar);</p> <p>- Junto a poste de iluminação pública;</p> <p>- Proximidade a pequeno jardim (espécies arbóreas e herbáceas).</p>		
	Ponto E13	<p>- Cruzamento com rua com vegetação (espécies arbóreas), de orientação N-S (Avenida 5 de Outubro);</p> <p>- Junto a poste de iluminação pública.</p>		
Percurso Oeste – Rua Ramalho Ortigão/Rua Mesquita	Breve caracterização da rua		<ul style="list-style-type: none"> Rua com orientação NO-SE; ligeira inclinação da superfície topográfica (cerca de 25 m de desnível entre o ponto 3 e o ponto 1); 	

			<ul style="list-style-type: none"> • Presença de algumas árvores de pequeno porte no centro da avenida
	Ponto E4	-entroncamento com a Avenida António Augusto de Aguiar (junto a poste de iluminação pública e semáforo).	
	Ponto E5	<ul style="list-style-type: none"> - Entroncamento com a rua Dr. Júlio Dantas (junto a semáforo); - Proximidade a vegetação (pequeno jardim – espécies arbóreas). 	
	Ponto E6	<ul style="list-style-type: none"> - Pequena colina na rua Mesquita (orientação SO-NE) - vegetação na proximidade (herbáceas e espécies arbóreas). 	

Anexo 4 - Quadro-resumo: caraterísticas dos locais de medição itinerante de parâmetros climáticos na rua com vegetação (Avenida Defensores de Chaves) e na rua sem vegetação (Rua Actor Isidoro)

Percursos	Caraterísticas	
Rua arborizada (Avenida Defensores de Chaves)	Breve caraterização da rua	
	<ul style="list-style-type: none"> Rua com vegetação no centro (espécies arbóreas); Orientação N-S; 	
	Ponto A1	<p>- Cruzamento com rua com vegetação de orientação E-O (Avenida de Berna).</p> 
	Ponto A2	<p>- Cruzamento com rua de orientação E-O (Avenida Elias Garcia).</p> 
	Ponto A3	<p>- Cruzamento com rua com vegetação (espécies arbóreas), de orientação E-O (Avenida Miguel Bombarda).</p> 
	Ponto A4	<p>- Cruzamento com rua de orientação E-O (Avenida Duque de Ávila).</p> 
Rua não arborizada (Rua Actor Isidoro)	Breve caraterização da rua	
	<ul style="list-style-type: none"> Rua com orientação N-S, sem vegetação, à exceção do cruzamento com a Alameda Dom Afonso Henriques (extensa área de relvado, com algumas árvores nas extremidades da Alameda); Rua com uma ligeira inclinação da superfície topográfica (cerca de 17 m de desnível entre o ponto 1 e o ponto 4); 	

	Ponto R1	- Cruzamento com rua de orientação E-O (Rua Actriz Virgínia).	
	Ponto R2	- Cruzamento com rua de orientação E-O (Rua Lucinda do Carmo).	
	Ponto R3	- Cruzamento com rua de orientação E-O (Rua Augusto Machado).	
	Ponto R4	- Rotunda do Mercado de Arroios.	

Anexo 5- Dados de temperatura do ar e humidade relativa: medições itinerantes no interior e no exterior do Jardim da Gulbenkian

Anomalias de temperatura do ar e humidade relativa no interior do Jardim da Gulbenkian - Medições itinerantes								
	Data das medições							
Anomalias de T°C		24/04	20/05	18/06	25/06	07/07	09/07	23/07
	Ponto I1	-4,6°C	6,0°C	3,8°C	6,8°C	2,6°C	0,4°C	2,2°C
	Ponto I2	-1,5°C	4,3°C	2,6°C	6,3°C	5,6°C	3,4°C	4,9°C
	Ponto I3	-0,7°C	3,7°C	1,9°C	4,8°C	3,4°C	1,2°C	2,2°C
	Ponto I4	-1,2°C	2,4°C	0,0°C	3,8°C	2,4°C	0,2°C	0,9°C
	Ponto I5	-2,4°C	4,0°C	0,3°C	5,8°C	3,4°C	1,2°C	0,7°C
	Ponto I6	-4,4°C	6,0°C	3,9°C	5,1°C	3,4°C	1,2°C	1°C
	Ponto I7	-4,5°C	7,4°C	3,4°C	7,6°C	4,8°C	2,6°C	2,3°C
	Ponto I8	-3,0°C	4,7°C	3,2°C	6,1°C	4,8°C	2,6°C	3,5°C
Anomalias de HR (%)	Ponto I1	-17%	-16,4%	-4,3%	-20,7%	-8,4%	-14,2%	-15,7%
	Ponto I2	-5%	-7,5%	-0,8%	-8,8%	-13,5%	-19,3%	-18,3%
	Ponto I3	-7%	-5,8%	-1,4%	-6,8%	-6,4%	-12,2%	-7,6%
	Ponto I4	-7%	-3%	3,2%	-2,2%	0,7%	-5,1%	-8%
	Ponto I5	-9,6%	-9,1%	-0,5%	-15,3%	-8%	-13,8%	-7,8%
	Ponto I6	-19,2%	-14,3%	-5,9%	-11,3%	-11,5%	-17,3%	-10,8%
	Ponto I7	-15%	-20,6%	-4,3%	-13,3%	-13,9%	-19,7%	-11,2%
	Ponto I8	-8%	-8,1%	-0,9%	-8,3%	-8,2%	-14%	-13,8%

Anomalias de temperatura do ar e humidade relativa a norte do Jardim da Gulbenkian (Rua Tenente Espanca) - Medições itinerantes						
Data	Anomalias de T°C			Anomalias de HR (%)		
	Ponto E1	Ponto E2	Ponto E3	Ponto E1	Ponto E2	Ponto E3
24/04/2018	-1,7°C	-4,6°C	-4,4°C	-5,3%	-16%	-12,1%
20/05/2018	3,9°C	7,2°C	6,9°C	-14%	-23,9%	-21,1%
18/06/2018	1,4°C	1,2°C	1,1°C	-0,7%	-3,5%	-1,5%
25/06/2018	2,1°C	2,8°C	2,5°C	-3,7%	-8,3%	-8%
07/07/2018	3,3°C	2,7°C	1,6°C	-7,8%	-7%	-5,8%
09/07/2018	3,4°C	3,2°C	1,4°C	-9,8%	-11,7%	-5,5%
23/07/2018	0,5°C	1,8°C	0,6°C	-5,9%	-10,6%	-10%

Anomalias de temperatura do ar e humidade relativa a sul do Jardim da Gulbenkian (Rua Dr. Nicolau Bettencourt) - Medições itinerantes						
Data	Anomalias de T°C			Anomalias de HR (%)		
	Ponto E7	Ponto E8	Ponto E9	Ponto E7	Ponto E8	Ponto E9
24/04/2018	-5,2°C	-6,8°C	-5°C	-19,7%	-20,3%	-14,1%
20/05/2018	6,5°C	8,4°C	7,8°C	-20,3%	-26,9%	-21,7%
18/06/2018	2,8°C	4,1°C	5,4°C	-6,1%	-8,7%	-10,3%
25/06/2018	3,8°C	5,5°C	8,5°C	-9,9%	-13,7%	-23,4%
07/07/2018	4,6°C	3,1°C	1,8°C	-15,4%	-8,9%	-8,4%
09/07/2018	5°C	2,3°C	1,1°C	17,1%	-8,3%	-8,5%
23/07/2018	2,6°C	3°C	2,1°C	10,2%	-12,5%	-11,8%

Anomalias de temperatura do ar e humidade relativa a oeste do Jardim da Gulbenkian (Rua Ramalho Ortigão) - Medições itinerantes						
Data	Anomalias de T°C			Anomalias de HR (%)		
	Ponto E4	Ponto E5	Ponto E6	Ponto E4	Ponto E5	Ponto E6
24/04/2018	-3,9°C	-7,7°C	-5,1°C	-13,7%	-20,7%	-15,5%
20/05/2018	1°C	0,7°C	3,5°C	-7,2%	-5,7%	16,3%
18/06/2018	2,5°C	6,2°C	5°C	-7,2%	11,5%	-9,8%
25/06/2018	7,6°C	8,2°C	7,8°C	17,4%	21,8%	21,5%
07/07/2018	3,1°C	4,7°C	5,6°C	10,1%	-13,9%	14,6%
09/07/2018	2,6°C	8°C	7,8°C	17,9%	24,4%	24,2%
23/07/2018	0,7°C	2,9°C	3,6°C	4,6%	11,4%	8,8%

Anomalias de temperatura do ar e humidade relativa a leste do Jardim da Gulbenkian (Avenida Miguel Bombarda) - Medições itinerantes								
Data	Anomalias de T°C				Anomalias de HR (%)			
	Ponto E10	Ponto E11	Ponto E12	Ponto E13	Ponto E10	Ponto E11	Ponto E12	Ponto E13
24/04	-4,9°C	-9,6°C	-9°C	-7,1°C	-14,1%	-25,7%	-21,6%	-15,1%
20/05	5,1°C	6,6°C	9,2°C	9,2°C	-13%	-21%	-27,3%	24,5%
18/06	3,9°C	4,7°C	6,3°C	6,3°C	-5,6%	-9,1%	-9,3%	-12,3%
25/06	4,2°C	6,1°C	7,2°C	7,2°C	14,3%	-18,9%	-26,4%	-21%
07/07	4,3°C	5,9°C	5,4°C	5,4°C	-10,5%	-16,4%	18,6%	-14,9%
09/07	4,5°C	4,8°C	3,5°C	3,5°C	-17,9%	17,9%	18,7%	-14,2%
23/07	0,7°C	2,7°C	4,5°C	4,5°C	-5,5%	13,4%	15,1%	-14,2%

Anexo 6 - Dados de temperatura do ar e humidade relativa: medições itinerantes numa rua com vegetação (Avenida Defensores de Chaves) e numa rua sem vegetação (Rua Actor Isidoro)

Anomalias de temperatura do ar e humidade relativa numa rua com vegetação (Avenida Defensores de Chaves) – Medições itinerantes								
Data	Anomalias de T°C				Anomalias de HR (%)			
	Ponto A1	Ponto A2	Ponto A3	Ponto A4	Ponto A1	Ponto A2	Ponto A3	Ponto A4
18/06	-0,2°C	0,9°C	1,4°C	4,5°C	-0,2%	-1,1%	-1,8%	-7,5%
25/06	3,1°C	3,5°C	2,8°C	4,9°C	-13,3%	-9%	-10%	-18,1%
26/06	1,5°C	1,8°C	2,7°C	4°C	-4,1%	-6%	-7,8%	-12,7%
06/07	2,1°C	3,1°C	3,2°C	3,3°C	-5,9%	-9,9%	-8,8%	-8,3%
08/07	1,2°C	1,4°C	1,3°C	2°C	-10,1%	12,1%	-13,5%	-12,8%
16/07	2,7°C	3,1°C	2,8°C	3°C	10,5%	-12%	-13,1%	-12,6%
17/07	3,7°C	3,8°C	3,8°C	5,5°C	-12,1%	-8,8%	-10,3%	-10,6%
26/07	3,7°C	5,7°C	5,7°C	6,8°C	11,4%	-14,5%	-14,2%	-18%

Anomalias de temperatura do ar e humidade relativa numa rua sem vegetação (Rua Actor Isidoro) – Medições itinerantes								
Data	Anomalias de T°C				Anomalias de HR (%)			
	Ponto R1	Ponto R2	Ponto R3	Ponto R4	Ponto R1	Ponto R2	Ponto R3	Ponto R4
18/06	-1,1°C	1,4°C	2,8°C	3°C	4,3%	-3,2%	-3,1%	-4,6%
25/06	2,5°C	4,2°C	5,3°C	5,7°C	-11,3%	-17,9%	-20,2%	-21,1%
26/06	2,5°C	2,1°C	2,4°C	3,4°C	-9,4%	-7,8%	-8,4%	-11,1%
06/07	3,8°C	5,1°C	4,1°C	4,2°C	-12,8%	-14%	-10,2%	-14,3%
08/07	3,7°C	5,1°C	3,5°C	3,3°C	-20,4%	-21,7%	-12,9%	-18,7%
16/07	2,7°C	3,6°C	2,9°C	6,9°C	-13,9%	-16,7%	-11,4%	-14,3%
17/07	1,8°C	5°C	4,2°C	6,9°C	-12,2%	-17,3%	-12,5%	-19,7%
26/07	3,7°C	5,7°C	5,7°C	6,8°C	-11,4%	-14,5%	-14,2%	18%